



Paisaje agrícola en la provincia de Chimborazo



INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR

SUELOS DEL ECUADOR CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO.

Editores:
José Espinosa
Julio Moreno
Gustavo Bernal

2022

SUELOS DEL ECUADOR

CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO

Editores

José Espinosa, Consultor: jepinosa@fragaria.com.ec

Julio Moreno, Instituto Geográfico Militar: vjmi76.jm@gmail.com

Gustavo Bernal, Consultor: gusrbg@yahoo.com



**INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR**

2022

Catalogación en publicación IGM. Gestión Geográfica

Nombres: Espinosa Marroquín, José Antonio Elías, editor / Moreno Izquierdo, Víctor Julio, editor / Bernal Gómez, Gustavo Ramón, editor /

Título: Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. José Espinosa, Julio Moreno, Gustavo Bernal (editores).

Descripción: Primera edición. / Quito: Instituto Geográfico Militar, 2022.

Identificación: ISBN 978-9942-22-557-3

Temas: Visión General de los Suelos de Ecuador / Suelos de la Costa / Suelos de la Sierra / Suelos del Oriente / Suelos de las Islas Galápagos / Uso del Suelo en Ecuador / Erosión del Suelo en Ecuador / Características de los Suelos en Ecuador y su Manejo / Microorganismos Benéficos en Suelos de Ecosistemas Naturales y Agroecosistemas del Ecuador.

Clasificación: Sector Público Gubernamental (978-9942-22)

La presente obra fue posible gracias al auspicio del Instituto Geográfico Militar (IGM). El libro es el resultado de la información generada, entre los años 2009 y 2017, por diversos proyectos de inversión que el Estado ecuatoriano estimó eran prioritarios, como, por ejemplo, los proyectos “Generación de Geoinformación para la Gestión y Valoración de Tierras de la Cuenca Baja del Río Guayas” y “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”, los cuales se trabajaron a escala semidetallada.

Primera edición: 11 de abril, 2022.

©Instituto Geográfico Militar (IGM)

Av. Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado.

Quito-Ecuador

ISBN 978-9942-22-557-3

Diseño de portada y Diagramación: Danny Lincango

Impresión: IGM

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

La versión digital está disponible gratuitamente en el Geoportal del IGM:

<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/>

Como citar este libro:

Espinosa, J., J. Moreno y G. Bernal (eds). 2022. Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador.

Como citar capítulos de este libro (ejemplo capítulo 4):

Sánchez, D., J. Merlo, R. Haro, M. Acosta y G. Bernal. 2022. Suelos del Oriente. En: J. Espinosa, J. Moreno y G. Bernal (eds). Suelos del Ecuador. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador.

EROSIÓN DEL SUELO

— EN ECUADOR —

José Espinosa, Consultor: jespinosa@fragaria.com.ec

Renato Haro, Consultor: renoharo@hotmail.com

Julio Moreno, Instituto Geográfico Militar (IGM): vjmi76.jm@gmail.com

Freddy Amores, Consultor: famores.ec@gmail.com

Oscar Ayala, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): oayala@inamhi.gob.ec

RESUMEN

Este capítulo describe detalladamente el proceso de erosión activa en todas las regiones de Ecuador, considerado como uno de los problemas ambientales de mayor impacto en el país. El proceso es muy severo en los flancos interiores y exteriores de la cordillera de los Andes, en los valles internos de la Sierra y en el pie de monte de la Costa y la Amazonía. Además, la erosión es también evidente en amplias áreas con relieve irregular de la Costa y Amazonía. El proceso de erosión en el país es de vieja data y en el pasado se lo consideró como un fenómeno natural fácil de subsanar porque en suelos con horizontes superficiales profundos era posible borrar la huella de la erosión con labranza y continuar con las actividades agrícolas sin aparente pérdida. Complementariamente, el crecimiento de la población ecuatoriana, que pasó de 9.29 millones en el año 1986 a 16.8 millones en el 2017, generó una alta presión sobre la tierra para producir alimentos. La agricultura sin adecuadas prácticas de manejo deteriora el suelo y causa problemas irreparables en los sitios donde ocurre limitando severamente la producción agrícola y generando abundantes sedimentos que salen del campo y afectan caminos, reservorios y otras obras de infraestructura que deben ser rehabilitadas con alto costo por los gobiernos seccionales. Por esta razón, Ecuador necesita desarrollar en forma inmediata un Plan Nacional de Manejo y Conservación de Suelos que controle la erosión y preserve el suelo y que, además, habilite los suelos erosionados para volverlos a incorporar a la producción. Las medidas de conservación para mantener las funciones ambientales del suelo y lograr producción sostenible de alimentos incluyen prácticas mecánicas y agronómicas de control de erosión, en su mayoría simples y de costo razonable. Si bien todo esto es materialmente posible, quizá el principal reto es convencer a las entidades gubernamentales y privadas, y al mismo agricultor, de la necesidad urgente de desarrollar un Programa Nacional de Control de Erosión, particularmente si se toman en cuenta los efectos innegables del cambio climático que incrementarían la intensidad de las precipitaciones en varias zonas en el país. Sin embargo, un programa efectivo a nivel nacional requiere de considerable inversión y sus resultados no son visibles inmediatamente, razón por la cual no ha logrado el apoyo de los sectores políticos en el pasado. Parecería que las condiciones del país han cambiado en los últimos años y que se ha generado un ambiente favorable para implementar un proyecto de esta naturaleza que podría basarse en la información cartográfica desarrollada por el Ministerio de Agricultura en varias de sus dependencias o en coordinación con otras instituciones y que está disponible en las plataformas virtuales del Ministerio y del Instituto Geográfico Militar. La gestión del proyecto se podría desarrollar basándose en la gobernanza lograda por los Gobiernos Autónomos Descentralizados, varios de los cuales han conducido un trabajo efectivo en la habilitación de cangahua.

ABSTRACT

This chapter describes in detail the active soil erosion process in all Ecuadorian regions, process which is considered as one of the country main environmental problems. The process is severe in the internal and external flanks of the Andes, in the internal Highland valleys, and in the piedmont of the Coast and the Amazonia. Erosion is also evident in the ample areas of irregular relieve of the Coast and the Amazonia. The erosion process in the country is long lasting but, in the past, it was considered a natural event easy to solve because in soils with a deep superficial horizon it was possible to erase the soil erosion print with tillage and continue with the activities with no apparent loss. Ecuadorian population changed from 9.29 million in 1986 to 16.8 million in 2017 and this growth generated a high land pressure to produce food. Agricultural activities without adequate management practices deteriorates the soil and provokes irreparable losses in the site where it takes place, seriously limiting agricultural production and generating abundant sediments which leave the field severely affecting roads, reservoirs and other infrastructure that needs to be rehabilitated at a high cost for the sectional governments. For this reason, Ecuador needs to develop a National Soil Management and Conservation Plan to control soil erosion and to rehabilitate already eroded soil to be incorporated again to production. Conservation practices to maintain soil environmental services and to achieve sustainable food production include mechanical and agronomic techniques, in general simple to develop at reasonable cost. Though materially possible, perhaps the main challenge is to convince government and private institutions, and the farmer himself, of the urgent need to develop a National Program Soil Management and Erosion Control, particularly taking in account the undeniable effects of climate change which would increase rainfall intensity in several zones in the country. However, an effective program at national level requires considerable investment and results are not visible immediately, for this reason it has not received attention from politicians in the past. It seems that the country's conditions have changed in the past few years generating a favorable environment to implement such project which could base its activities in the cartographic information developed by the Ministry of Agriculture in its dependencies or in coordination with other institutions and which is available in the Ministry and the Military Geographic Institute virtual platforms. The project management could be based in the governance achieved by the Autonomous Sectional Governments, several of which have conducted an effective job in cangahua rehabilitation.

7.1. Introducción

La erosión es el arrastre de los materiales sólidos de la superficie del suelo. La erosión natural, provocada a través del tiempo por acción del aire, agua, nieve o hielo, es un proceso muy lento que permite el equilibrio entre la pérdida y la formación del suelo. Sin embargo, la intervención humana con actividades agrícolas y la construcción de infraestructura promueve el rápido arrastre de las partículas sólidas de la superficie del suelo acelerando considerablemente el proceso erosivo con una intensidad que varía de unos escenarios a otros. La intensidad y forma de la erosión dependen de la inclinación y longitud de la pendiente, la intensidad y frecuencia de las lluvias, de la velocidad del viento, de las características del suelo, de la cobertura vegetal y del uso y manejo del suelo. Debido al muy lento proceso de formación natural del suelo, se estima que es prácticamente imposible recuperarlo luego que ha salido del sitio por erosión inducida, por esta razón, se considera que el suelo es un recurso no renovable a la escala humana de tiempo. La erosión es el efecto más visible de todos los procesos de degradación del suelo (Zuazo and Pleguezuelo, 2008; Pimentel and Burgess, 2013).

Existen problemas de erosión en todas las regiones de Ecuador, sin embargo, el proceso es muy severo en los flancos interiores de la cordillera y en los valles internos de la Sierra, en los francos exteriores de la cordillera y en el pie de monte de la Costa y la Amazonía. Además, la erosión es también evidente en las zonas de relieve irregular de la Costa y la Amazonía. La presión sobre la tierra ha obligado a los productores a usar suelos con diferente grado de pendiente ubicados en las zonas antes mencionadas. El proceso erosivo se inicia con la eliminación de la cubierta vegetal natural para empezar las labores agrícolas, sin antes tomar precauciones para controlar la potencial pérdida de suelo. La preparación para colocar la semilla deja la superficie del suelo expuesta a los agentes erosivos (agua y viento), las gotas de lluvia que caen sobre la superficie descubierta desprenden las partículas de suelo que son arrastradas del sitio por el agua de escorrentía, formando primero pequeñas zanjas que luego se agrandan hasta formar cárcavas de gran tamaño. De esta forma, grandes áreas pierden completamente la capa superficial del suelo y aflora el subsuelo de baja fertilidad y pobres propiedades físicas. En la Sierra Norte aparece la matriz endurecida denominada cangahua donde es imposible hacer agricultura (Espinosa y Maldonado, 1987; de Noni, *et al.*, 1992; Zebrowski, 1997; de Noni y Trujillo, 1999b; Prat, *et al.*, 2015).

Existe evidencia de que en épocas precoloniales en la región interandina de Ecuador era común la agricultura conservacionista que se adaptaba a las condiciones de los paisajes andinos construyendo, por ejemplo, terrazas y camellones (**Figura 7.1**). La agricultura vulnerable a la erosión traída por los colonizadores cambió las prácticas de manejo del suelo, actividades que se evidencian en las actuales formas de explotación de la tierra (de Noni, 1986; Becker y Tuttillo, 2009).

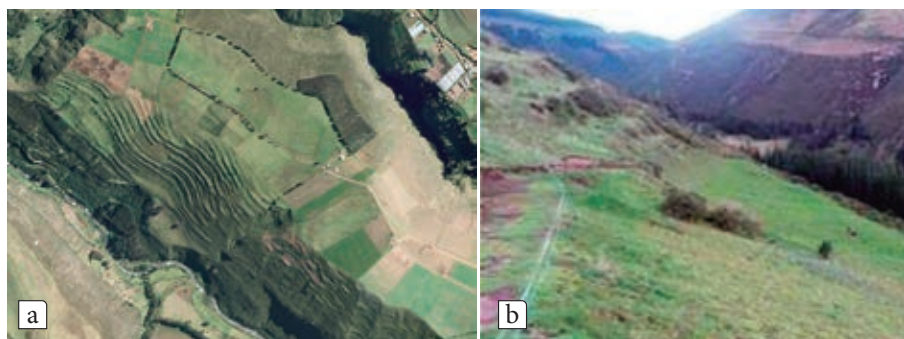


Figura 7.1. Terrazas de épocas preincaicas en la zona de Juan Montalvo-Cayambe; a) fotografía aérea de SIGTIERRAS (2010); b) fotografía del sitio tomada en el 2017.

Una de las primeras descripciones de los procesos erosivos del pasado fueron los estudios que reconstruyeron los antiguos paisajes forestales del Ecuador que detallaron los procesos de pérdida de los horizontes orgánicos del suelo ocurridos en la Sierra Centro-Norte entre los siglos XVII y XVIII y que, en ese tiempo, se atribuyeron al avance de la frontera agrícola (Hidalgo, 1998). Teodoro Wolf (1892), en su recorrido por el Callejón Interandino, describió la Sierra Centro-Norte como territorio quebrado, casajoso y parcialmente fértil, características que las atribuyó también al mal manejo agrícola introducido en la conquista española, manejo que no se adapta a los paisajes de la Sierra.

La misión del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), que trabajó en Ecuador en la década de 1940, condujo estudios de los procesos erosivos de la Sierra, generando varios métodos de control y manejo de tierras erosionadas de la región interandina. En este grupo de trabajo participó el investigador Misael Acosta Solís, quien generó varios reportes de erosión que finalmente fueron compilados en el libro “Por la Conservación de las Tierras Andinas” (Acosta Solís, 1952), obra en la que se indica que ya en ese tiempo el 90 % de las tierras que habían sido cultivadas en la región interandina sufrían de procesos erosivos (**Figura 7.2**) y que de este total, el 85 % presentaban procesos erosivos severos, advirtiendo también que las tierras que no parecían erosionadas estaban encaminadas al mismo deterioro. Los trabajos de la misión de USDA fueron recopilados y luego publicados por Miller en la revista *Geographical Review* (**Figura 7.3**) (Miller, 1959).

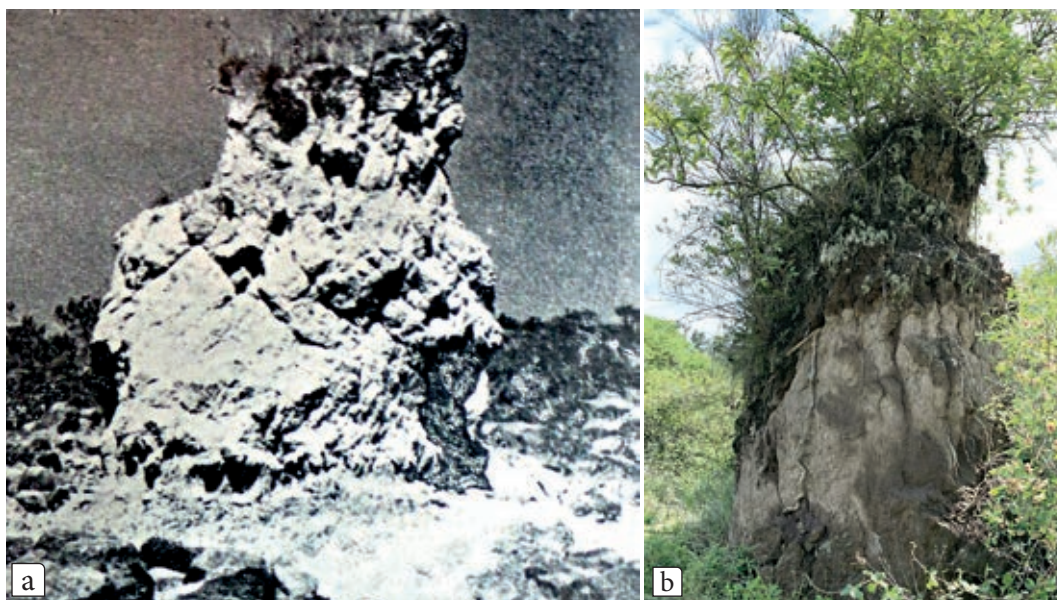


Figura 7.2. Vestigios de erosión en el volcán Ilaló, Pichincha: a) lado Este documentado por Acosta Solís (1952), b) fotografía del lado Norte tomada en el 2019.



Figura 7.3. Erosión de suelos en laderas áridas de Calderón, norte de Quito (Miller, 1959).

En 1981, el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) publicó los resultados del estudio denominado “Evaluación de los Recursos Hidrológicos Superficiales del Ecuador”. En ese trabajo se dividió al país en 76 cuencas hidrográficas de acuerdo con la importancia de los recursos, la potencialidad de desarrollo y/o el estado de degradación de los recursos naturales de estas vertientes. Con respecto a la degradación de las cuencas, el estudio indicó que uno de los principales problemas era la reducción de la cubierta vegetal que promovía un dinámico proceso de erosión que contribuía a la descarga acelerada de grandes volúmenes de sedimentos a los cuerpos de agua. Se concluyó indicando que 16 de estas cuencas merecen mayor atención en su manejo ambiental y, específicamente, requieren de un reordenamiento del uso de la tierra y planificación del desarrollo (INERHI, 1981). Los resultados de este estudio también indican que la mayor degradación se observa en la parte alta de las cuencas, debido a la alteración de la cubierta vegetal y al mal manejo de sus suelos. Los resultados de la evaluación del comportamiento de tres microcuencas (río Chamachán de la subcuenca del río Chota, río Pasguaso y quebrada Chinigua de la subcuenca del río Cebadas) reportados por IICA-PROCIANDINO (1995) demostraron que entre el 21 al 25 % del área estaba afectada por erosión, considerándose que éste era un problema serio para la sostenibilidad de la región.

La gestión del Dr. Sam Portch, asesor científico de los departamentos de Suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), permitió que se desarrolle e implemente un proyecto de Conservación de Suelos que condujo actividad en el campo de 1981 a 1986. Se desarrollaron actividades de campo con agricultores en comunas de Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo y Manabí. Al mismo tiempo se creó en el Ministerio de Agricultura (MAG) el Programa Nacional de Conservación de Suelos (PRONACOS) como extensión del PRONAREG. INIAP y PRONACOS capacitaron a más de 500 técnicos de nivel medio y profesionales en todo el país en técnicas de manejo del suelo para conservación. Estas personas debieron ser la base para implementar un Plan Nacional de Conservación de Suelos. El proyecto de INIAP no continuó con sus actividades luego de 1986, pero retomó su trabajo de conservación de suelos a pequeña escala a nivel de cuencas hidrográficas (Córdova and Novoa, 1995). PRONACOS desapareció como entidad pública dos años después de su creación debido a la reorganización del MAG. Varias instituciones privadas como CARITAS desarrollaron también actividades de campo para control de erosión por varios años.

El MAG y la Oficina de Investigación Científica y Técnica en el Extranjero (ORSTOM, por sus siglas en francés) publicaron, en 1984, los resultado del estudio denominado “Principales procesos erosivos del Ecuador” que generó el mapa de erosión a escala de 1: 1 000 000 con su respectiva leyenda explicativa (Almeida, *et al.*, 1984). Este estudio determinó que el 47 % del territorio nacional presentaba problemas erosivos de diferente tipo (principalmente hídrica y eólica), estableciéndose que el 12 % de las tierras degradadas estaban en la región Sierra (el 35 % restante correspondía al límite de la frontera agrícola, particularmente a las tierras altas, los flancos exteriores de la Sierra y áreas potencialmente afectadas de la Costa y el Oriente). El estudio también resaltó que la mayor pérdida de suelo (erosión activa y muy activa) se producía dentro del callejón interandino, estimándose que cerca del 50 % del área cultivada soportaba un proceso acelerado de erosión. El mapa original de este estudio fue adaptado y presentado por de Noni, *et al.* (1997) en su publicación “La erosión agrícola en los suelos de Ecuador” (Figura 7.4). Este mapa se ha reproducido en varias publicaciones que abordaron el problema de la erosión en el país (Loza, 1995; Custode, *et al.*, 1999; de Noni y Trujillo, 1999a; MAG, 1999; Suquilanda, 2008; Pacheco, 2009).

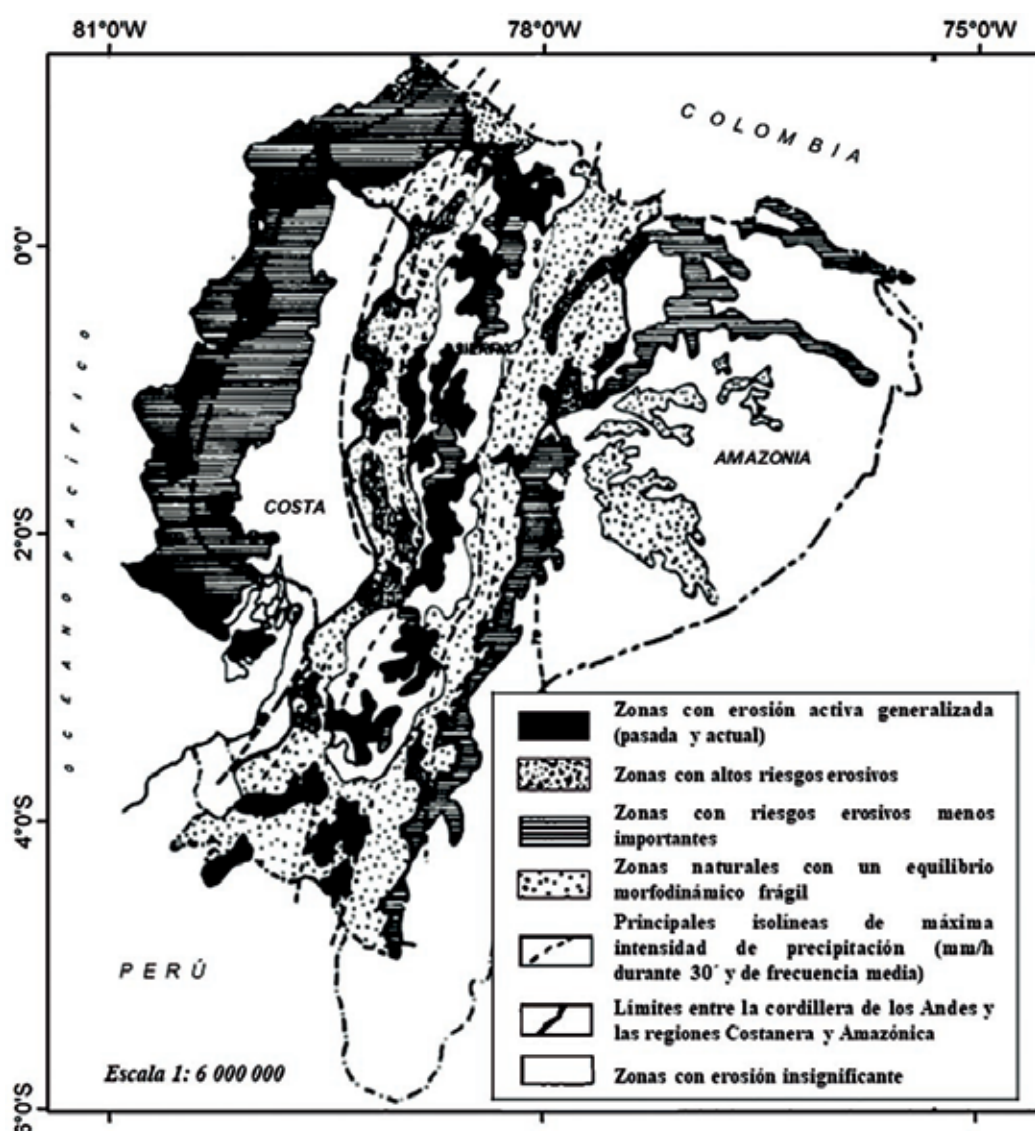


Figura 7.4. Mapa de los principales procesos erosivos en el Ecuador (de Noni, *et al.*, 1997).

Por otro lado, el reporte de un estudio conducido por el Centro Internacional de la Papa (CIP) señaló que las cuencas hidrográficas de la Sierra ecuatoriana estaban, en ese tiempo, sometidas a diferentes grados de erosión. Se determinó que el 26 % del área tenía riesgo potencial de erosión, el 4.1 % moderado, el 28.1 % serio y el 39.1 % crítico y que apenas el 2.7 % del área no presentaba riesgos de erosión (Espinosa, 1993). En consecuencia, los efectos de la erosión eran graves, particularmente por la sedimentación de los principales reservorios y causas de los ríos de la parte baja de las cuencas. Esta situación se evidenció en la represa de Paute, donde se estima se depositaban más de 3 millones de m³ de sedimentos cada año, situación que generó un costo cuantioso de dragado para mantener la presa en operación (Pacheco, 2009).

En 1999, el Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria (SIGAGRO), hoy Coordinación General del Sistema de Información Nacional (CGSIN), en cooperación con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA-PROCIANDINO) y el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), en el marco del proyecto denominado Generación de Información Georreferenciada para el Desarrollo Sustentable del Sector Agropecuario, elaboraron el mapa de Erosión Actual del Ecuador (**Figura 7.5**), basándose en la interpretación visual de imágenes satelitales LANDSAT TM del periodo entre los años 1999 y 2002, en combinación de las bandas 4-5-3 (vegetación, agua y suelo, respectivamente) y según la respuesta espectral de cada uno de los elementos de suelo. La información obtenida permitió determinar la existencia de dos niveles de erosión: zonas en proceso de erosión con una extensión de 272 136 hectáreas y zonas erosionadas con 52 349 hectáreas (González, *et al.*, 2002).

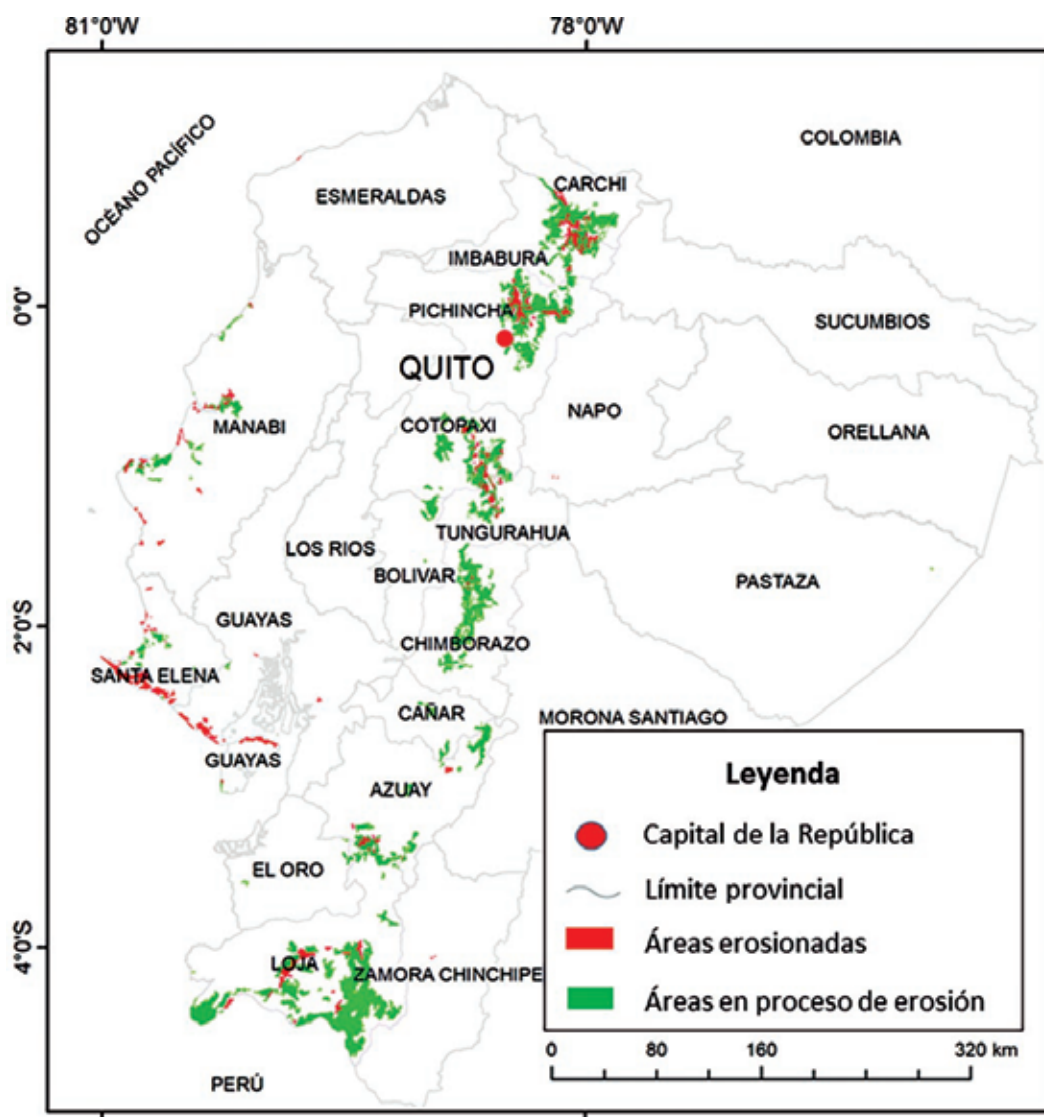


Figura 7.5. Mapa de erosión del Ecuador MAG-IICA-CLIRSEN (González, *et al.*, 2002).

Varios estudios sobre erosión se han conducido a través de los años en sitios puntuales de la Sierra (Custode y Viennot, 1986; Harden, 1993; Dehn, 1995; IICA-PROCIANDINO, 1995; Poulenard, *et al.*, 2001; Barrera, *et al.*, 2008; Alwang, *et al.*, 2013; Henry, *et al.*, 2013; Ochoa, *et al.*, 2013b). Otros estudios más recientes a nivel de tesis de grado incluyen ensayos de parcelas de escurrimiento, simulaciones de lluvia, modelamientos con la ecuación universal de pérdida del suelo, entre otros (Chela, 2008; Santos y Castro, 2012; Campaña, 2015; Pacheco, *et al.*, 2019; Zambrano, *et al.*, 2020). La variabilidad de estos estudios, debido a los diferentes años y sitios, hace difícil precisar cifras representativas de los procesos de erosión ya que se condujeron en parcelas experimentales y, dada la heterogeneidad de las zonas, se considera que las proyecciones a nivel de territorio basadas en estos datos sobredimensionan la magnitud del proceso erosivo (Trimble and Crosson, 2000; Boardman, 2006; Almorox, *et al.*, 2010).

7.2. Erosión en la Sierra Norte

Los suelos de la Sierra Norte (vertientes internas y fondos de las cuencas del callejón interandino) presentan características físicas, químicas y mineralógicas marcadamente diferentes del resto de la Sierra, así como diferente sensibilidad a la erosión. Los suelos de este gran paisaje se ubican en tres zonas: a) Vertientes Superiores, que limitan con las tierras frías de la cordillera a altitudes > 3 000 m s. n. m.; b) Vertientes Inferiores, que se ubican sobre los 2 600 m s. n. m.; y c) Fondos de las Cuencas, ubicados entre los 2 000 y 3 000 m s. n. m. (MAG, 1999; Espinosa and Moreno, 2018).

Las vertientes superiores presentan temperaturas bajas (< 13 °C) y están cubiertas con vegetación de páramo (en sus partes altas), pastos y otros cultivos (papa, haba, cebolla) mientras descenden. Los suelos de esta zona tienen un régimen isomésico de humedad y se clasifican como Andisoles (Soil Survey Staff, 2006) (**Figura 7.6**). Las propiedades físico-químicas de estos suelos están determinadas por la presencia de minerales amorfos (alófana) en el perfil, son de colores oscuros, ricos en materia orgánica del suelo (MOS), pH cercano a 6, baja saturación de bases, riesgo a toxicidad por aluminio, alta retención de humedad, fijación de fósforo, irreversibilidad en el secado, fácil compactación y de fertilidad media a baja. Actualmente, estos suelos están sometidos a una intensa actividad agrícola, disminuyendo paulatinamente su fertilidad por reducción del contenido de MOS y nutrientes debido a la eliminación de la capa protectora de vegetación de los lotes de cultivo, lo que los expone a la erosión laminar y en cárcavas (Custode, *et al.*, 1999; Moreno, *et al.*, 2018).



Figura 7.6. Perfil del suelo clasificado como Pachic Melanudands (MIDENA, *et al.*, 2013d).

Las vertientes inferiores presentan pendientes menores que son una transición hacia los modelados de los paisajes del fondo de las cuencas interandinas, con un clima que cambia de húmedo a seco conforme descende de las zonas altas a las zonas bajas, condición característica del interior del callejón interandino, debido a que las corrientes de aire húmedo provenientes de las llanuras descargan su humedad en las

vertientes externas para luego descender por las vertientes internas como aire seco que aumenta su temperatura conforme se acerca a los valles, por esta razón, en estas zonas el régimen de temperatura del suelo es isotérmico (Moreno, *et al.*, 2018). Los suelos de esta zona se clasifican como Inceptisoles con presencia de vidrio volcánico y Mollisoles (Soil Survey Staff, 2006).

Los Inceptisoles que se presentan en la parte baja de la vertiente y en las partes altas y secas de las cuencas, están cubiertos por poca vegetación en condiciones naturales, son de color gris claro, sin o de poca estructura, bajo contenido de MOS, ricos en piedra pómez milimétrica (**Figura 7.7**). Estos suelos son susceptibles a la erosión hídrica y eólica, especialmente cuando son sobre explotados (pastoreo) (Moreno, *et al.*, 2018). Los Mollisoles son suelos de color negro a café oscuro, de estructura migajosa y consistencia suave, se caracterizan por una alta saturación de bases y alto contenido de MOS (**Figura 7.8**). Estos son suelos de buena fertilidad adecuados para la producción agrícola, siendo la limitante más importante la pendiente y en algunas zonas la presencia de cangahuas (protoduripán) a poca profundidad. Los suelos con cangahuas se clasifican como Durustolls (Soil Survey Staff, 2006). Cuando estos suelos están ubicados en pendientes pronunciadas y se saturan con agua pueden presentar movimientos en masa que arrastran los horizontes superficiales lo que provoca el afloramiento de las cangahuas (**Figura 7.9**) (Moreno, *et al.*, 2018).



Figura 7.7. Perfil del suelo clasificado como Vitrandic Haplustepts (MIDENA, *et al.*, 2013c).



Figura 7.8. Perfil del suelo clasificado como Pachic Hapludolls (MIDENA, *et al.*, 2013e).



Figura 7.9. Perfil del suelo clasificado como Entic Durustolls (MIDENA, *et al.*, 2013b).

Por otro lado, los fondos de las cuencas tienen una temperatura media anual que varía entre los 13 y 18 °C, con una pluviosidad media anual que va de 500 a 1000 mm (en algunos sectores el clima es árido, con precipitaciones de 200 a 500 mm), condiciones que han promovido el desarrollo de un régimen de temperatura de suelo isotérmico y régimen de humedad ústico (Moreno, *et al.*, 2018). Los suelos característicos de esta zona se clasifican como Mollisoles (Soil Survey Staff, 2006), de texturas francas o más gruesas, de colores oscuros, ricos en saturación de bases y MOS y presencia de cangahuas a diferentes profundidades y delgados horizontes argílicos en algunos de ellos (**Figura 7.10**). Los restos arqueológicos indican que estos suelos ya se habían explotado en épocas precoloniales (MAG, 1999).



Figura 7.10. Perfil del suelo clasificado como Vitrandic Argiudolls (MIDENA, *et al.*, 2013a).

En esta zona aparecen también suelos poco desarrollados (Entisoles) (Soil Survey Staff, 2006), sin horizontes definidos, que se encuentran indistintamente distribuidos en el área. Estos suelos son producto de la erosión, la intervención del hombre o la deposición reciente de materiales (**Figura 7.11**) (Moreno, *et al.*, 2018).



Figura 7.11. Perfil del suelo clasificado como Typic Ustorthents (MIDENA, *et al.*, 2014).

La erosión antrópica es el proceso que más degrada el suelo en la Sierra ecuatoriana, región considerada como una de las de mayor presión sobre la tierra del mundo (Almeida, *et al.*, 1984; Brassel, *et al.*, 2008). El crecimiento de la población rural ecuatoriana ha obligado a los agricultores a usar tierras marginales para la producción, particularmente tierra de pendientes muy inclinadas de las laderas de la Sierra. Además, también por la presión sobre la tierra, los lotes se han ido dividiendo hasta crear una complicada red de minifundios donde la agricultura está limitada por la escasez de recursos y la mala ubicación de los lotes de producción. La división de la tierra deja en el campo lotes alargados ubicados a favor de la pendiente, condición que promueve la erosión (**Figura 7.12**). La poca disponibilidad de tierra para la agricultura promueve, además, el uso intenso y la utilización de prácticas agrícolas que favorecen la pérdida del suelo. Este es el caso de la práctica de preparar el suelo en el sentido de la pendiente ya sea con bueyes o con tractor (**Figura 7.13**).

Las dos cadenas montañosas que estructuran la Sierra se unen por cordilleras transversales (nudos) formando en su interior hoyas geográficas que constituyen zonas con paisajes de diferente aspecto y climas particulares que van de muy húmedos a muy secos. Las vertientes internas de las hoyas, con pendientes fuertes, son más susceptibles al escurrimiento y arrastre de materiales. La cobertura vegetal sobre el suelo en estas pendientes es intermitente y deja zonas con superficie sin cobertura por el uso de prácticas de labranza que remueven completamente el suelo (Almeida, *et al.*, 1984; Winters, *et al.*, 1998; Barrera, *et al.*, 2008). Cada vez que ocurre un evento de lluvia el proceso erosivo es acelerado (**Figura 7.14**). Sin embargo, es necesario aclarar que la erosión no es patrimonio de los pequeños productores ya que también se presenta con la misma intensidad en propiedades grandes con mal manejo. El riego también ha contribuido activamente al proceso erosivo, tanto en predios pequeños como en las propiedades grandes. Paradójicamente, el riego tan necesario para la producción termina eliminando la capa fértil del suelo, el principal sostén de la producción agrícola. Muy pocos proyectos de riego incluyen las indispensables prácticas de conservación de suelos que harían eficiente y sostenible la inversión en riego (Southgate and Whitaker, 1994; Vanacker, *et al.*, 2003). La preocupación radica entonces en conocer hasta qué punto el proceso erosivo es advertido desde sus orígenes, considerando que la erosión es reconocida como un problema solamente cuándo y dónde ha sido el proceso dominante del desgaste del paisaje y ha reducido claramente el potencial de producción de los predios agrícolas e incidiendo en su aptitud de generación de bienes o servicios ambientales. El efecto nocivo de la erosión es noticia solo cuando las represas se llenan de sedimento, cuando afloran las cangahuas o cuando las lluvias intensas causan inundaciones de las áreas inferiores de la cuenca, acumulando grandes cantidades de sedimento en caminos, edificios y otras obras de infraestructura con el consecuente perjuicio económico y ambiental (Ortiz, 1990; Hillel, 1992; de la Rosa, 2008; Espinosa, 2014; Prat, *et al.*, 2015).

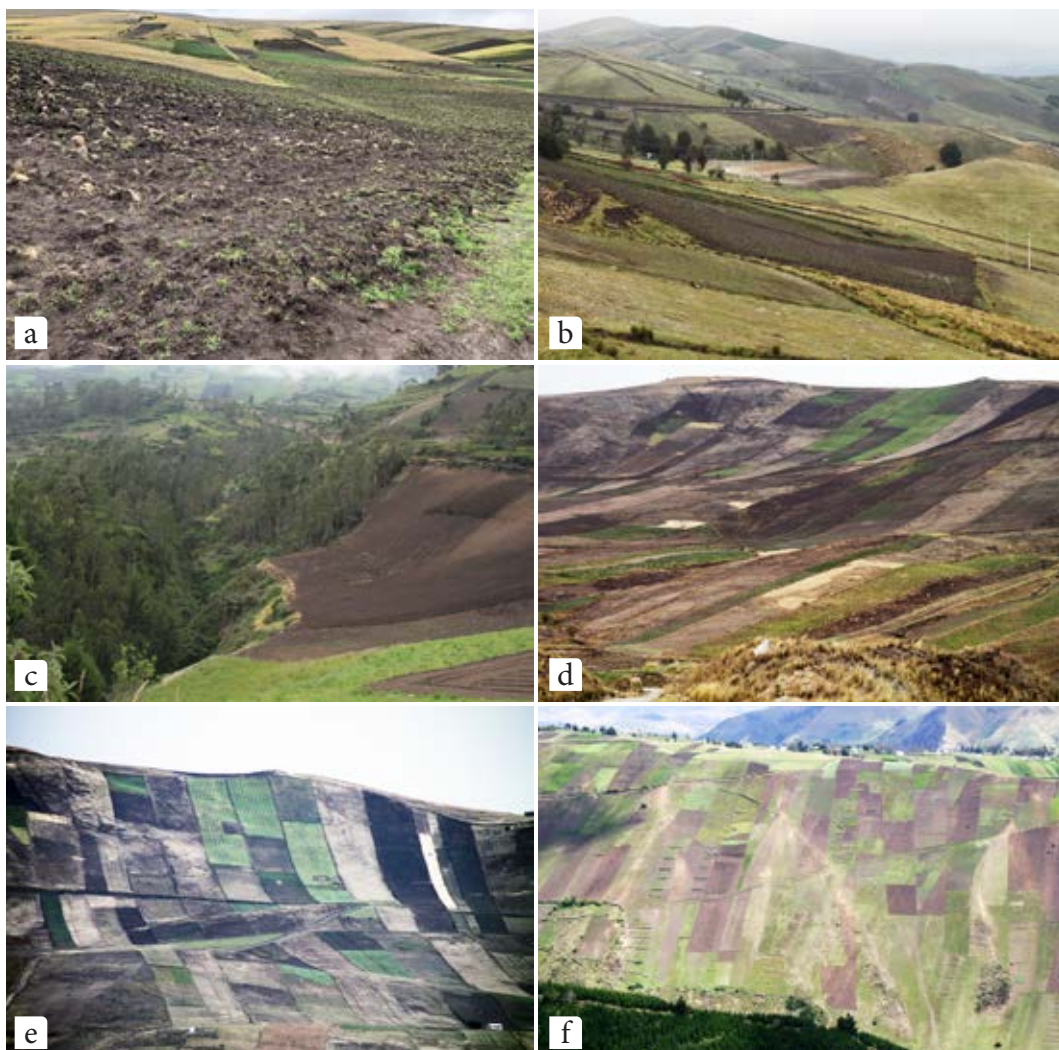


Figura 7.12. Pendientes largas e inclinadas que se han dividido en lotes largos y angostos generando una situación que promueve erosión activa. **a)** Cangahua, Cayambe, Pichincha; **b)** Poaló, Pillaro, Tungurahua; **c)** Químiag, Químiag, Chimborazo; **d)** Cebadas, Guamote, Chimborazo; **e)** Palmira, Guamote, Chimborazo; **f)** Pilahuín, Ambato, Tungurahua.



Figura 7.13. Práctica común de preparar el suelo con tractor en pendientes inclinadas en la Sierra Norte. La labor realizada a favor de la pendiente deja el suelo listo para erosionarse con las primeras lluvias.

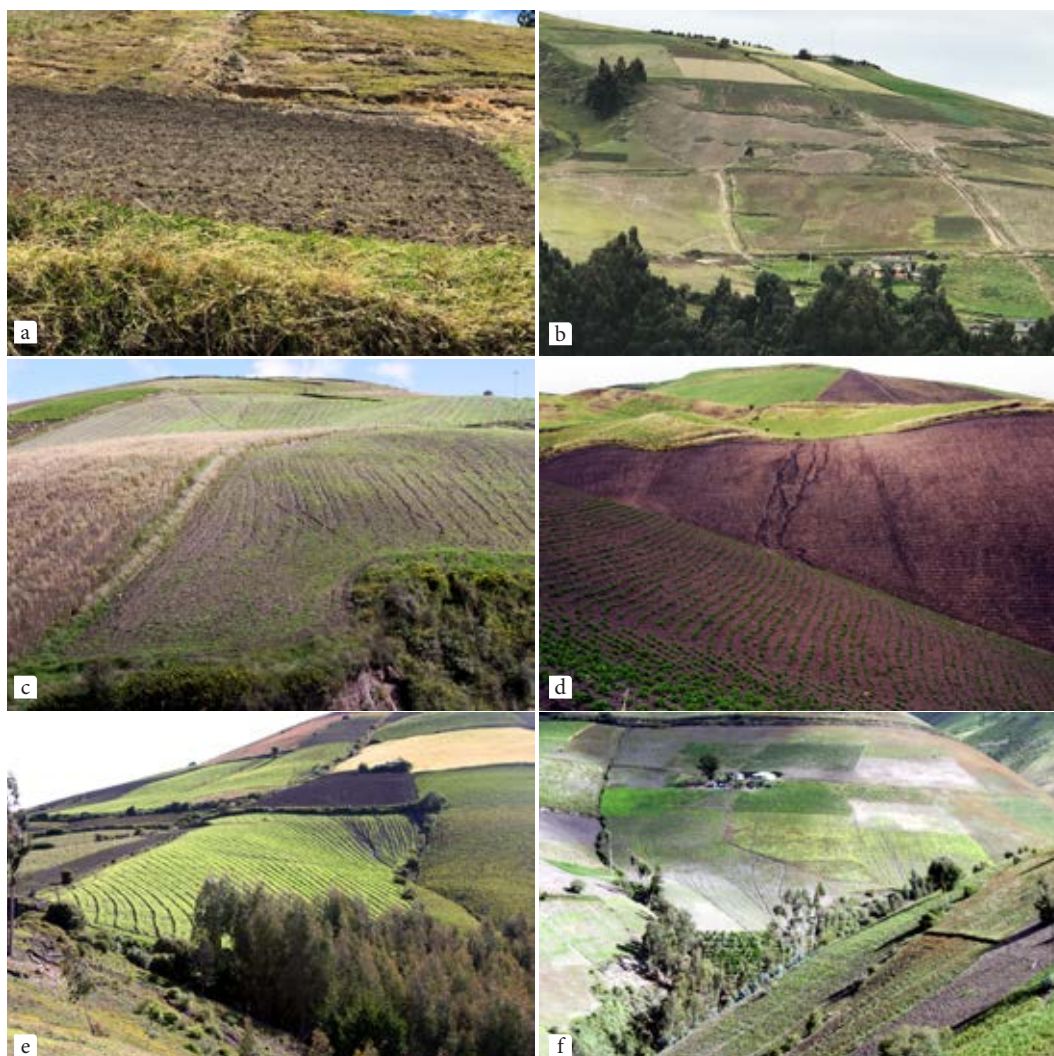


Figura 7.14. Procesos de erosión activa en diversos sitios en la Sierra Norte. **a)** Cangahua, Cayambe, Pichincha; **b)** Otón, Cayambe, Pichincha; **c)** San Miguel, Salcedo, Cotopaxi; **d)** Magdalena, Chimbo, Bolívar; **e)** Urbina, Píllaro, Tungurahua; **f)** Bayushig, Penipe, Chimborazo.

Por otro lado, en las zonas donde la vegetación xerofítica revela bajas precipitaciones (~ 600 mm de promedio anual) se presentan vientos de alta velocidad que fomentan la erosión eólica, proceso que es particularmente evidente en las provincias de Pichincha (San Antonio) y Chimborazo (Palmira). Estas zonas secas coinciden con las áreas cartografiadas de mayor erosión (Ambuquí y San Antonio, Imbabura; Perucho, Pichincha; Ambato, Tungurahua y Palmira, Chimborazo). La **Figura 7.15** muestra el proceso de erosión eólica en Palmira. Antiguamente, las franjas de tierra alrededor de los ríos de estas zonas albergaban grandes bosques de Algarrobos (*Mimosa quitensis*), de Mosquera (*Croton menthondrus*) o espinales de cactus (*Opuntia*, *Cerus*, y *Borzicatus*), pero el mal manejo y deforestación han hecho que estos sitios se transformen en arenales de escasa vegetación que ofrece poca protección contra la erosión. Los severos procesos erosivos en zonas secas contribuyen a la desertificación en la Sierra (Cañadas, 1983; Almeida, *et al.*, 1984; Hidalgo, 1998; Espinosa and Moreno, 2018; Tello, *et al.*, 2019).



Figura 7.15. Proceso de erosión hídrica (izquierda) y proceso de erosión eólica (derecha) en la zona seca de Palmira, Guamote, Chimborazo.

Un alto porcentaje de los suelos de la Sierra Norte son Andisoles (suelos derivados de cenizas volcánicas) que por su naturaleza tienen alta porosidad debido a su baja densidad aparente y altos contenidos de MOS (Zehetner, *et al.*, 2003; Dahlgren, *et al.*, 2004; Nanzzy and Kanno, 2018), condición que hace que el suelo absorba altas cantidades de agua que saturan el suelo y provocan escurrimiento superficial que inicia el proceso erosivo o que provocan deslizamientos en masa comunes en varios sitios de la Sierra. La destrucción de la estructura por laboreo excesivo y/o utilización de maquinaria pesada en suelo húmedo destruye la porosidad y compacta el suelo haciéndolo más susceptible a erosión (Mejía, 1997; Dahlgren, *et al.*, 2004; Lal, 2017).

7.2.1. Cuantificación de la erosión en la Sierra Norte

El estudio más completo sobre la magnitud del proceso erosivo en Ecuador fue publicado por el MAG y la ORSTOM en 1984 (Almeida, *et al.*, 1984). Este estudio determinó que aproximadamente el 47.9 % del país estaba, en ese momento, afectado por problemas erosivos de diferente intensidad (**Cuadro 7.1**). La información obtenida estableció que, en general, la mayor pérdida de suelo por erosión activa y muy activa se produce dentro del callejón interandino y en las vertientes que lo bordean (**Figura 7.4**) (Almeida, *et al.*, 1984; de Noni, *et al.*, 1997), llegando a considerarse que, en aquel tiempo, la erosión era la más grande amenaza que enfrentaba la agricultura de la Sierra (Almeida, *et al.*, 1984; Espinosa y Maldonado, 1987; Espinosa y Mothes, 1991). La información obtenida hasta ese momento indicaba que alrededor del 36 % de la superficie del país, es decir alrededor de 10 000 000 de hectáreas, presentaban potenciales procesos erosivos muy bajos, pero que el mal manejo del suelo podría erosionarlas fácilmente. Los procesos erosivos activos se presentaban en alrededor de 2 000 000 de hectáreas, en tanto que en 333 000 hectáreas existían procesos muy intensos de erosión (Almeida, *et al.*, 1984; Custode, *et al.*, 1999; MAG, 1999).

Cuadro 7.1. Intensidad de los procesos erosivos en el Ecuador durante 1980 (Almeida, *et al.*, 1984).

Intensidad de los Procesos	Porcentajes estimados en relación con la superficie del Ecuador
Muy Activos	1.3
Activos	7.7
Activos y Potenciales	3.1
Potenciales	35.8
Total	47.9

La región Andina ecuatoriana es la zona donde el crecimiento poblacional es mayor y donde se encuentran las cuencas hidrográficas con alta densidad poblacional, a pesar de que estas zonas tienen limitadas posibilidades de extender su frontera agrícola (Villacís, *et al.*, 2011; Asamblea Nacional, 2016). Es

en esta región donde los factores generadores de procesos erosivos son más preocupantes que en la Costa o la Amazonía, debido al efecto decisivo de las precipitaciones y la acción del viento, suelos descubiertos, lotes ocupados por agricultura desarrollada en relieves de montaña con fuertes pendientes y diversos tipos de clima (**Cuadro 7.2**) (Almeida, *et al.*, 1984; Custode, *et al.*, 1999; IGM y IEE, 2008; Espinosa and Moreno, 2018). Esto se puede evidenciar en zonas que llegan a tener entre el 50 y 90 % de sus suelos erosionados con afloramiento de cangahuas (Loza, 1995; Custode, *et al.*, 1999; MAG, 1999; Prat, *et al.*, 2015; MAG, 2017).

Cuadro 7.2. Factores creadores y condicionantes de la erosión en el Ecuador (Loza, 1995).

Regiones	Factores generadores		Factores condicionantes	
	Pluviometría anual	Viento	Topografía	Cobertura vegetal
Costa	Fuertes	Escaso	Media a Fuerte	Buena
Sierra	Bajas o medias	Agresivo en verano	Fuerte a muy Fuerte	Mala
Flancos exteriores de la Sierra	Fuertes	Sin	Fuerte a muy Fuerte	Muy buena en las zonas fuera de las áreas colonizadas
Oriente	Fuertes	Sin	Suave o media	Muy buena fuera de las áreas colonizadas

Si bien era conocido el efecto devastador de la erosión en las tierras altas de Ecuador, también es cierto que no se cuenta con información sobre la dinámica y forma de dispersión de la pérdida de suelo a través de los años. Con este antecedente, Haro (2020) procesó la geoinformación existente para determinar el estado actual del proceso erosivo en la Sierra Norte del Ecuador, tomando como punto de partida la información generada por Almeida, *et al.* (1984) y de Noni (1986). El estudio se condujo en una sección de la Sierra Norte que se extiende desde la frontera colombiana, al norte, hasta aproximadamente la latitud de 2°30' S a la salida del valle de Alausí-Chunchi, cubriendo una superficie 1 557 587 hectáreas. Como primer paso se obtuvo el mapa de los principales procesos erosivos del Ecuador de 1984, a mayor detalle, el cual se comparó con el mapa elaborado con la información obtenida del procesamiento y digitalización de imágenes Landsat 2017, logrando cuantificar las áreas con grados de erosión severo, moderado y ligero, en ambos mapas (**Figuras 7.16 y 7.17**). En el **Cuadro 7.3** se presentan las áreas de diferente grado de erosión en 1986 y 2017, observándose que las superficies erosionadas de los grados ligero y severo se incrementaron en este periodo de tiempo, mientras que la superficie con erosión de grado moderado se redujo.

Cuadro 7.3. Cambios en los grados de erosión entre 1986 y 2017 en la Sierra Norte (Haro, 2020).

Año	Grado de erosión (ha)			
	Ligera	Moderada	Severa	Total
1986	409 353	59 389	4 760	473 502
%*	26.3	3.8	0.3	30.4
2017	540 654	41 280	142 541	724 475
%	34.7	2.7	9.1	46.5

* Los porcentajes están en función de la superficie del área evaluada: 1 557 588 ha.

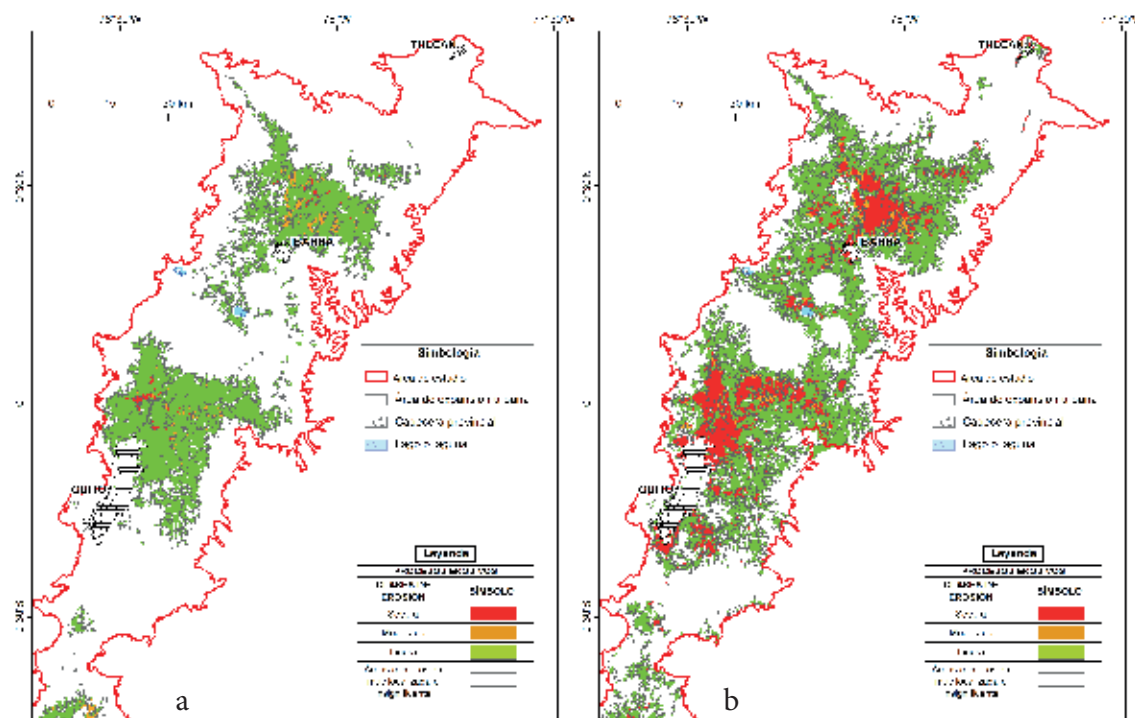


Figura 7.16. Comparación del cambio en los grados de erosión en la zona norte del área evaluada: a) 1986 y b) 2017 (Haro, 2020).

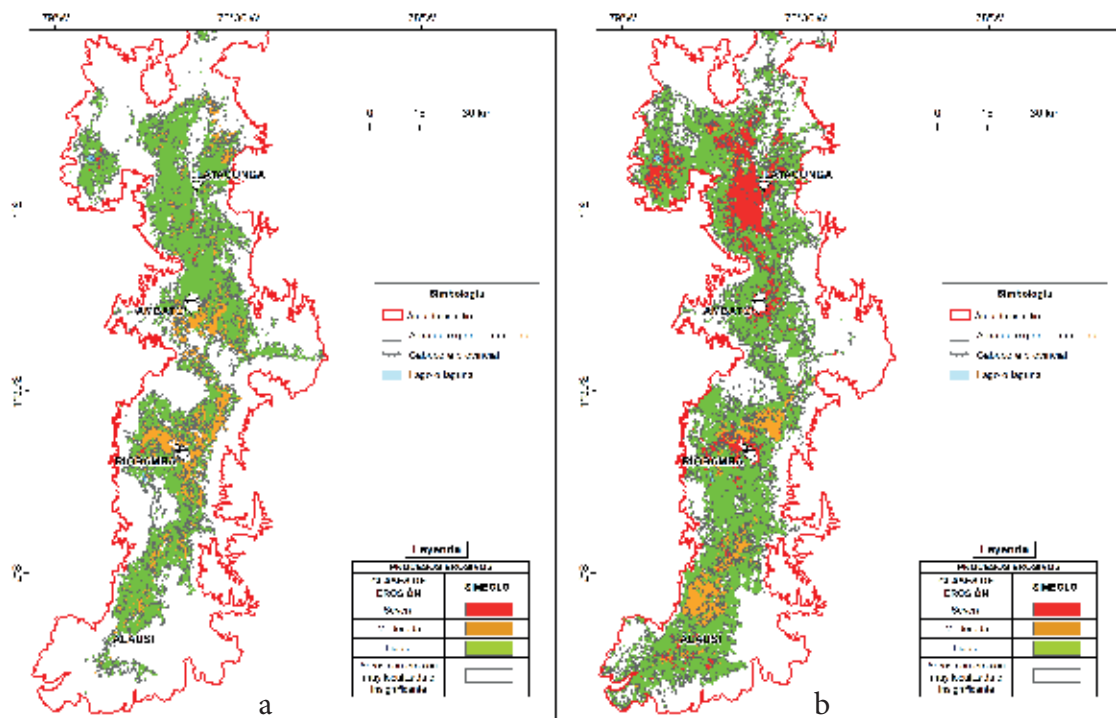


Figura 7.17. Comparación del cambio en los grados de erosión en la zona sur del área evaluada: a) 1986 y b) 2017 (Haro, 2020).

La descripción detallada de los cambios en superficie y severidad de los procesos erosivos de la zona estudiada en el periodo 1986 y 2017 se presenta en el **Cuadro 7.4**. Se puede observar que los cambios más representativos corresponden a la erosión ligera y severa en las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Pichincha, mientras que en las de Tungurahua, Carchi y Cotopaxi se observa una reducción representativa en la erosión moderada, pero un incremento en la superficie con erosión severa.

Cuadro 7.4. Cambios en la superficie y la severidad de la erosión del periodo 1986 y 2017 a nivel provincial (Haro, 2020).

Grado de Erosión	Provincia	1986	2017
		Superficie (ha)	
Ligero	Carchi	20 457	38 653
	Cotopaxi	94 193	103 827
	Chimborazo	90 439	160 155
	Imbabura	50 395	75 019
	Pichincha	97 057	107 834
	Tungurahua	56 813	55 166
	Total	409 354	540 654
Moderado	Carchi	1 253	773
	Cotopaxi	7 270	3 515
	Chimborazo	29 981	29 774
	Imbabura	3 006	3 865
	Pichincha	2 500	2 974
	Tungurahua	15 379	380
	Total	59 389	41 281
Severo	Carchi	691	7 129
	Cotopaxi	1 227	40 197
	Chimborazo	177	14 514
	Imbabura	354	20 126
	Pichincha	2 076	51 510
	Tungurahua	235	9 065
	Total	4 760	142 541
Total general (ha)		473 503	724 476
*%		30.4	46.5

* Los porcentajes están en función de la superficie del área evaluada: 1 557 588 ha.

Los cambios en la superficie y severidad de la erosión documentados en la Sierra Norte han sido promovidos por diferentes factores, pero particularmente por el hecho de que casi toda la tierra se puede utilizar en agricultura, aun aquella con serias limitaciones de modo que solo quedan sin uso pequeñas áreas con pendientes muy inclinadas (> 70 %). Aparentemente, la necesidad de utilizar la tierra para subsistir ha hecho que los agricultores hayan olvidado las bases del antiguo equilibrio entre producción y consumo establecido por las comunidades precoloniales, sin embargo, es claro que las relaciones actuales entre el hombre y la naturaleza se plantean en términos de lucha y adversidad por subsistir, con poca actitud conservacionista, convirtiendo de esta forma a la erosión en uno de los aspectos de mayor relevancia en la degradación de los recursos naturales y en particular del suelo de la Sierra Norte (de Noni, 1986; IICA-PROCIANDINO, 1995; Espinosa and Moreno, 2018).

En muchos sitios se ha llegado a considerar que la erosión es un fenómeno natural, tan natural como la lluvia misma, porque en suelos con horizontes superficiales profundos era fácil borrar la huella de la erosión con la labranza, sin percatarse que con esta acción se estaban perdiendo enormes cantidades de suelo, pérdidas que finalmente se hicieron evidentes con las grandes áreas de la Sierra Norte donde han aflorado las cangahuas (Espinosa, 1981; Dercon, *et al.*, 2007; Espinosa, 2014). Por otro lado, el rápido crecimiento poblacional trae como consecuencia una alta demanda de uso del suelo para asentamientos, pueblos y ciudades tomando tierra agrícola, con el consecuente incremento de la presión sobre la tierra para producir alimentos. La población ecuatoriana creció de 9.29 millones en el año 1986 a 16.8 millones en el 2017 (Eglitis Media, 2021), cifras que se relacionan directamente con el aumento poblacional en la Sierra Norte y el evidente incremento en erosión en ese periodo de tiempo en esa zona del país. Las obras de infraestructura necesarias para la construcción de vivienda e infraestructura de acceso sellan los suelos e incrementan la escorrentía haciendo más severo el proceso erosivo, aumentando los efectos colaterales de la pérdida del suelo (Cortés, 2004; Tello, *et al.*, 2019).

Las condiciones de clima de las zonas altas del trópico, como las prevalentes en la Sierra Norte de Ecuador, permiten producir todo el año si se puede satisfacer las necesidades de agua de los cultivos en las épocas secas. La adopción y uso eficiente del riego mejora los rendimientos, disminuye el riesgo a la erosión y abre la posibilidad de diversificar la producción. Sin embargo, el riego mal utilizado es una de las actividades agrícolas que fomenta el proceso erosivo. El sistema de riego dominante en la Sierra es el riego por gravedad o inundación (más del 90 % de la superficie regada), a pesar de sus limitaciones por mayor consumo de agua y potencial de erosión cuando se utiliza en áreas con pendiente (Winters, *et al.*, 1998; Zapatta y Gasselin, 2005; Gaybor, 2018). El desarrollo de la tecnología en los últimos años ha puesto a disposición de los pequeños productores equipos de riego por aspersión y goteo a precios razonables que hoy se utilizan aprovechando la diferencia de presión generada por la pendiente, pero el riego por aspersión en lotes inclinados tiene todavía un alto potencial de causar problemas por erosión. Además, el riego mal utilizado puede generar problemas de salinización y sodificación que pueden destruir la capacidad productiva del suelo.

7.2.2. Cangahua

La cangahua es un estrato subsuperficial del perfil del suelo formado por tobas volcánicas que provinieron de la deposición, removilización, meteorización y endurecimiento de flujos de lodos compuestos por materiales piroclásticos lanzados por erupciones volcánicas que finalmente se consolidaron a diferentes profundidades en capas de material fino de color caqui anaranjado. La cangahua está compuesta principalmente de vidrio volcánico alterado y otros minerales volcánicos tales como plagioclasa, hornblenda, clinopiroxeno, ortopiroxeno, magnetita, biotita, feldespato-K y cuarzo. Estas tobas volcánicas se endurecieron por acción combinada de agentes cementantes como los carbonatos, por el llenado de los poros con arcillas, sílice y óxidos de hierro y por la acción de periodos climáticos secos. Las tobas volcánicas que formaron las cangahuas se esparcieron en lo que hoy son las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, entre los 2 000 y 3 200 m s. n. m. en las estribaciones internas del callejón interandino (Maldonado, *et al.*, 1984; de Noni, *et al.*, 1992; Vera y López, 1992; Hall y Mothes, 1997; Zebrowski, 1997). Estos estratos fueron luego cubiertos por cenizas volcánicas, material que con el paso del tiempo formó un suelo fértil de buenas condiciones para la producción agrícola. La presión sobre la tierra, las pendientes pronunciadas del terreno y el mal manejo del suelo promovieron la severa erosión de la capa superficial proveniente de ceniza volcánica dejando expuesta la cangahua (de Noni, *et al.*, 1992; de Noni y Trujillo, 1999a; Espinosa, 2014; Prat, *et al.*, 2015).

Estudios conducidos en la década de 1990 estimaron, con las herramientas tecnológicas disponibles en ese tiempo, que la cangahua estaba presente en una superficie aproximada de 240 000 hectáreas y que el área con exposición de cangahua a la superficie era mayor a 80 000 hectáreas en áreas localizadas en zonas de minifundio con alta concentración poblacional en la Sierra Norte (de Noni, *et al.*, 1992; Zebrowski, 1997; de Noni y Trujillo, 1999a). Con el apoyo de nueva tecnología, los estudios de Jiménez, *et al.* (2016) y Metzler, *et al.* (2016) obtuvieron información regional sobre la presencia de cangahua en varios cantones de provincias de la Sierra Norte que sirvió de insumo para el estudio conducido por Jiménez, *et al.* (2018)

que identificó con precisión las áreas donde se localiza la cangahua aflorante (expuesta en la superficie) y la cangahua ubicada hasta 60 cm bajo la superficie del suelo. La utilización de sensores remotos, imágenes aéreas ortorrectificadas, imágenes satelitales de alta resolución espacial, información cartográfica de libre acceso y un intenso programa de verificación en el campo permitió desarrollar el mapa de cangahuas en el Ecuador a escala 1: 25 000 con información detallada sobre la superficie total y la distribución de la cangahua en el país (Figura 7.18).

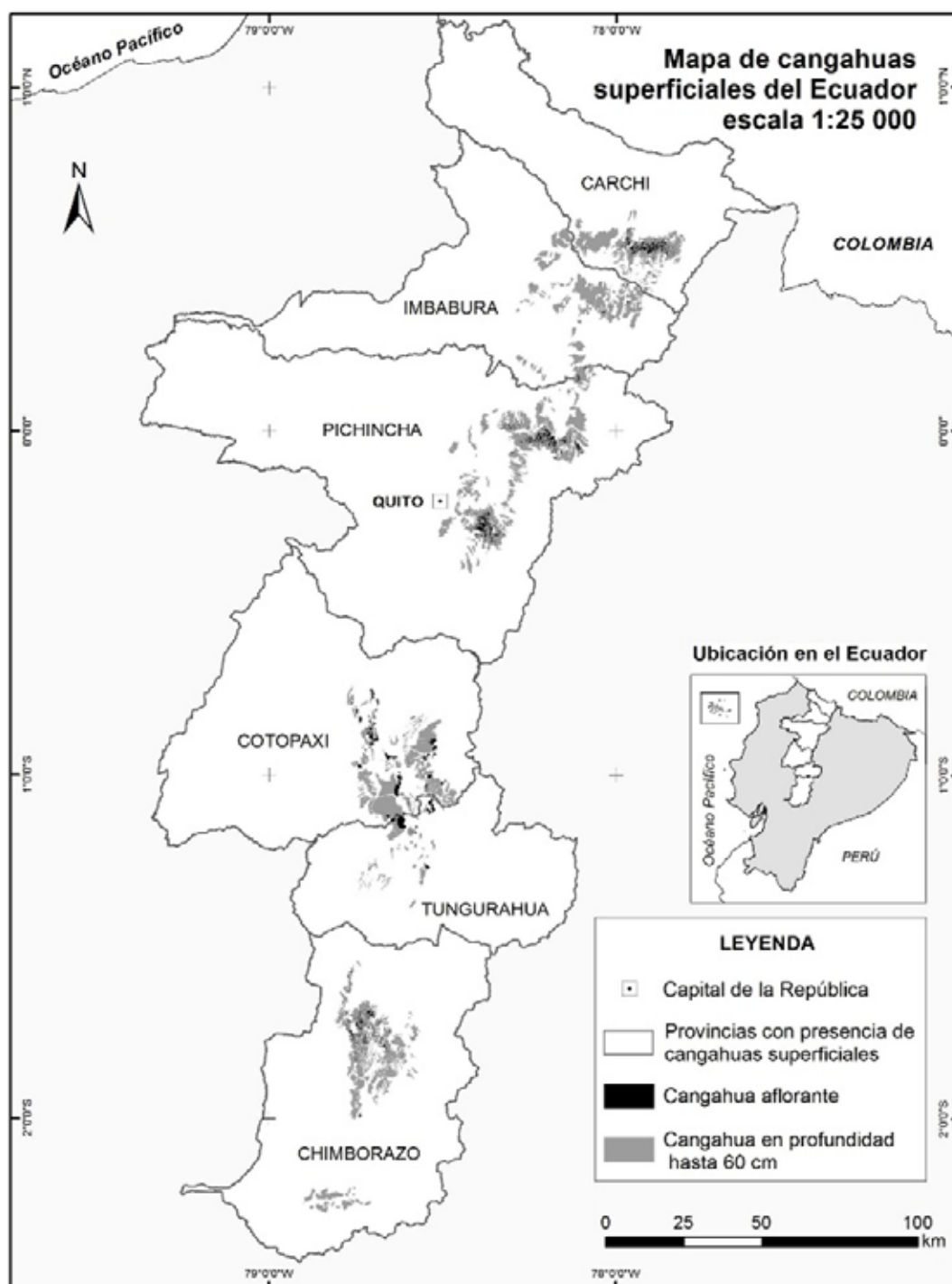


Figura 7.18. Distribución general de la cangahua aflorante y en profundidad de hasta 60 cm a nivel provincial en el Ecuador (Jiménez, *et al.*, 2018).

Las cangahuas superficiales se localizan en las vertientes de los volcanes de la Sierra Norte ubicadas en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo en zonas asociadas a la actividad volcánica del período Cuaternario y su presencia cerca o en la superficie fue promovida por procesos de erosión (**Cuadro 7.5** y **Figura 7.19**). El área total de cangahuas superficiales en el país es de 181 487 hectáreas, de las cuales 13 162 corresponden a cangahua aflorante y 168 325 a cangahua en profundidad hasta 60 cm (Jiménez, *et al.*, 2018).

Cuadro 7.5. Distribución provincial de la cangahua aflorante y en profundidad de hasta 60 cm a nivel provincial (Jiménez, *et al.*, 2018).

Provincia	Cangahua aflorante	Cangahua en profundidad hasta 60 cm	Total provincial
----- ha -----			
Carchi	2 207	21 743	23 950
Chimborazo	1 807	34 721	36 528
Cotopaxi	3 659	32 655	36 314
Imbabura	152	26 985	27 137
Pichincha	3 795	46 130	49 925
Tungurahua	1 542	6 091	7 633
Total Nacional	13 162	168 325	181 487

Los rangos de altitud de las áreas donde se encuentran las cangahuas se presentan en el **Cuadro 7.6**. La cangahua aflorante está localizada entre los 1 470 y 3 650 m s. n. m. y la cangahua en profundidad se localiza entre los 1 300 y 4 000 m s. n. m. Por otro lado, del área total, 4 397 hectáreas (3 %) se encuentran en zonas relativamente bajas desde 1 300 a 2 000 m s. n. m., 130 651 (72 %) se ubican entre los 2 000 a 3 200 m s. n. m. y solamente 2 452 (1 %) corresponden a las zonas en el rango de 3 600 a 4 100 m s. n. m. Reportes anteriores indicaban que la cangahua se ubicaba entre 2 500 a 3 200 m s. n. m. (de Noní et Viennot, 1994), sin embargo, la reportada presencia de cangahua a mayor altitud es una clara evidencia de la reciente erosión promovida por el crecimiento de la frontera agrícola hacia los páramos (Jiménez, *et al.*, 2018).

Cuadro 7.6. Distribución de las cangahuas según la altitud (Jiménez, *et al.*, 2018).

Rango de altitud	Cangahua aflorante	Cangahua en profundidad hasta 60 cm	Subtotal	Porcentaje
----- ha -----				
m s. n. m.				
1 300 - 2 000	44	4 353	4 397	3
2 000 - 3 200	9 264	121 387	130 651	72
3 200 - 3 600	3 739	40 248	43 987	24
3 600 - 4 000	115	2 337	2 452	1
Total	13 162	168 325	181 487	100

La dureza de la cangahua impide la retención de agua y la penetración y desarrollo de raíces, por esta razón, pocas plantas crecen en los eriales de cangahua expuesta y la actividad agrícola tiene severas limitaciones en las zonas donde la cangahua se encuentra a poca profundidad (**Figuras 7.19e** y **7.19f**). El habilitar la cangahua para uso agrícola es entonces un imperativo social que debe satisfacerse con innovación tecnológica. Este sería un aporte positivo para promover entre los campesinos una agricultura eficiente y amigable con el ambiente que permita asegurar la alimentación y genere recursos económicos para la población.

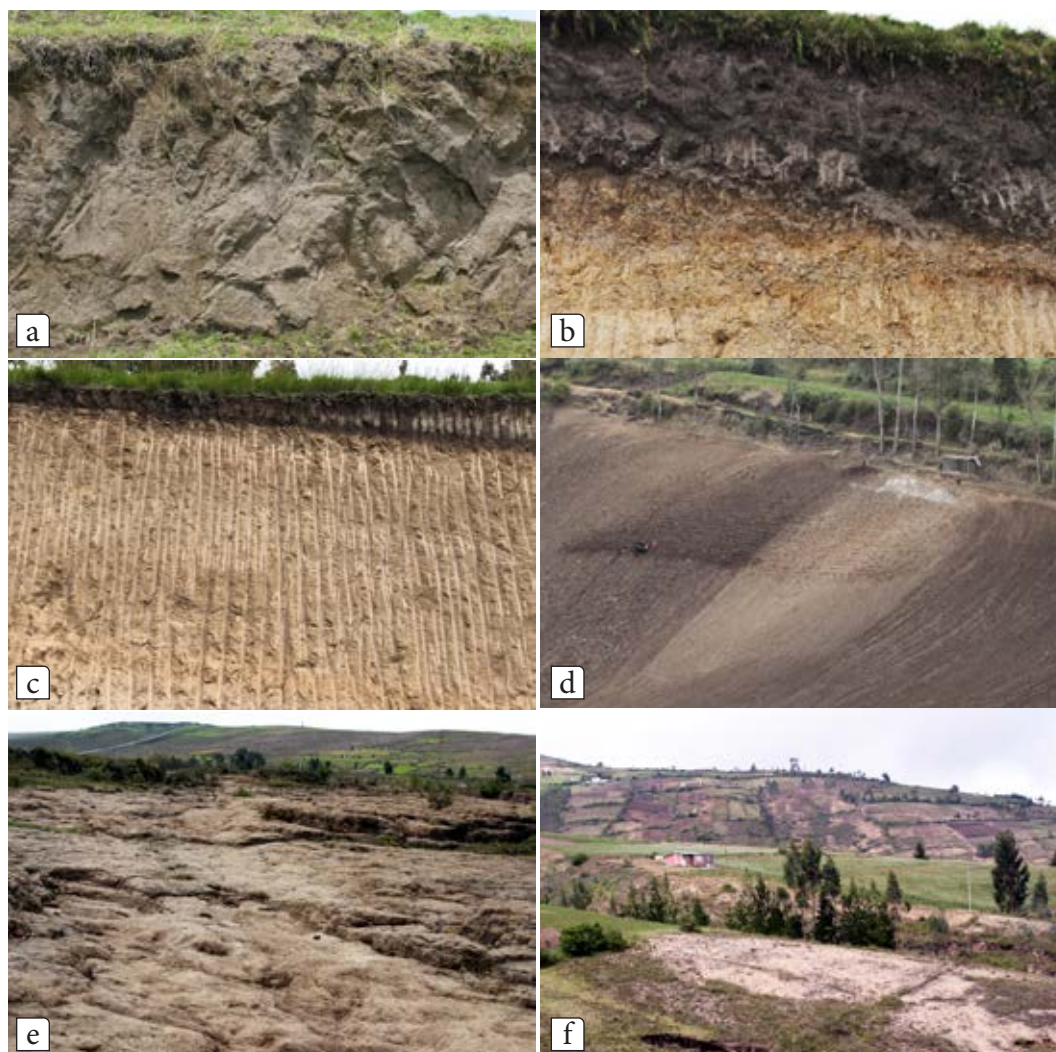


Figura 7.19. Profundidad de la cangahua en varios sitios de la Sierra Norte. **a)** Capa profunda de suelo volcánico sobre cangahua a 3 100 m s. n. m., Aláquez, Latacunga, Cotopaxi; **b)** Capa de suelo volcánico de > 1 m de profundidad sobre cangahua, Otón, Cayambe, Pichincha; **c)** Capa delgada (< 0.6 m) de suelo volcánico sobre cangahua que se ha perdido por erosión, Cangahua, Cayambe, Pichincha; **d)** Afloramiento de cangahua por intenso proceso de erosión promovido por labranza mecanizada, Quimiag, Riobamba, Chimborazo; **e)** Zona de afloramiento de cangahua luego de un largo y activo proceso de erosión en Bolívar, Bolívar, Carchi; **f)** Zona con cangahua superficial luego de la pérdida de suelo por erosión promovida por mal manejo del suelo, Latacunga, Latacunga, Cotopaxi.

Varios trabajos de habilitación de cangahuas se condujeron en la década de 1990 en proyectos que removieron el material endurecido de forma manual, con tractor, reforestación y siembra de frutales (Cangás y Trujillo, 1997; Terán, 1997; Trujillo y Arias, 1997; Zebrowski y Sánchez, 1997; Poulenard, *et al.*, 2001). La mayoría de estos proyectos no se mantuvieron en el campo con el apoyo pertinente y se perdieron nuevamente por la erosión del material recuperado y los resultados finales de la recuperación no fueron satisfactorios.

Un nuevo esfuerzo para habilitar cangahua y transformarla en suelo productivo se inició en el año 2012 en un trabajo conjunto entre el MAGAP, FAO, Universidad Central del Ecuador y varios gobiernos seccionales de la Sierra Norte (Taruchaín, 2020). El trabajo consiste en romper la cangahua con maquinaria hasta alrededor de un metro de profundidad para crear un soporte físico para las plantas. El bajo contenido de nutrientes esenciales, particularmente nitrógeno y fósforo, en el material inicialmente rehabilitado restringe el crecimiento de las plantas, lo que no permite generar suficientes residuos orgánicos que promuevan la actividad microbiana y la acumulación de carbono orgánico (CO). Por esta razón, los cultivos sembrados inmediatamente después de la ruptura de la cangahua producen rendimientos dramáticamente bajos (**Figura 7.20**).



Figura 7.20. Cultivos de pobre crecimiento y rendimiento sembrados inmediatamente después de la ruptura de la cangahua. Los sitios están localizados en la comuna Porotog (cebada, izquierda) y la comuna Buena Esperanza de Guachalá (maíz, derecha) en la parroquia Cangahua, cantón Cayambe.

En este punto del proceso es importante establecer una estrategia de manejo que enriquezca el material producto de la ruptura de la cangahua con nutrientes esenciales y CO hasta rehabilitarlo y convertirlo en suelo fértil que permita alcanzar una producción sostenible de los cultivos. El manejo se inicia incorporando primero residuos orgánicos y fertilizantes minerales para luego sembrar leguminosas y pastos que se incorporan como abono verde buscando desarrollar la matriz de suelo que permita sembrar cultivos tradicionales de la zona y cultivos nuevos de mayor valor. Se espera que este procedimiento de habilitación de la cangahua permita producir rendimientos adecuados de trigo y fréjol en tres años y maíz en cinco (Hidrobo, *et al.*, 2015; Prat, *et al.*, 2015; Taruchaín, 2020). En los sitios donde se puede incorporar riego presurizado se pueden incluir una variedad más amplia de cultivos, algunos de buena rentabilidad como flores y frutales (Foubert, 2015; Taruchaín, 2020). Algunas facetas del proceso de habilitación de cangahua se presentan en la **Figura 7.21**.

La posibilidad de acumular CO durante el proceso de habilitación de la cangahua puede jugar un interesante papel en la captura de carbono a nivel local. Se considera que en el proceso de habilitación desde la ruptura del material endurecido hasta la estabilización del nuevo suelo se podrían capturar entre 40 y 90 t ha⁻¹ de carbono de la atmósfera (Prat *et al.* 2015). Por otro lado, es importante considerar que la incorporación de las zonas erosionadas donde ha aflorado cangahua permitiría reducir la presión sobre la tierra evitando la utilización de los páramos sobre 3 200 m s. n. m. para agricultura. Los páramos son una importante reserva de carbono y agua que debe conservarse para beneficio de toda la población (Podwokewski and Poulenard, 2011).



Figura 7.21. Proceso de habilitación de cangahua en el cantón Urcuquí, Imbabura. **a)** Maquinaria roturando cangahua hasta una profundidad aproximada de un metro, parroquia Cahuasquí; **b)** Lote de 20 % de pendiente un año después del roturado donde todavía se observan bloques grandes de cangahua, parroquia Cahuasquí; **c)** Lote con 5 años en proceso de habilitación, 15 % de pendiente, donde no se han utilizado técnicas de conservación y la cangahua ha aflorado nuevamente, parroquia San Blas; **d)** Lote con dos años de proceso de habilitación, 15 % de pendiente, sembrado en curvas de nivel para evitar la erosión, todavía se observan pequeños bloques de cangahua, parroquia de Pablo Arenas; **e)** Lote con cinco años de habilitación, 20 % de pendiente, cultivada con fréjol, parroquia de Pablo Arenas; **f)** Lote de tres años de habilitación cultivado con tomate de árbol donde se han utilizado técnicas de conservación de suelo desde el inicio del proceso, parroquia Pablo Arenas. Fotos Alex Taruchaín.

7.3. Erosión en la Sierra Centro y Sierra Sur

La Sierra Centro y la Sierra Sur se caracterizan por la ausencia volcanes y de recubrimientos piroclásticos recientes y en ambas los relieves empinados de las zonas altas de las vertientes internas de las cordilleras se van suavizando al pasar por la zona media hasta entrar en contacto con los pisos planos u ondulados de las cuencas inferiores. En general, estas condiciones de relieve generan una gradiente climática que se caracteriza por recibir altas precipitaciones en las zonas altas que gradualmente van reduciéndose hasta generar zonas secas de baja precipitación. Los suelos de las partes altas de la Sierra Norte son ferralíticos-fersialíticos, en las partes intermedias son moderadamente evolucionados con características móllicas o vérticas y en las zonas bajas los suelos son poco evolucionados con predominio de vertisoles. Por otro lado, los suelos de altura de

la Sierra Sur son fersialíticos saturados, en la zona media son paleosuelos ferralíticos desaturados y en las zonas bajas predominan vertisoles rodeados por paleosuelos fersialíticos (Zebrowski y Sourdat, 1997). Las características particulares de estos suelos hacen que los procesos erosivos sean diferentes a los dominantes en la Sierra Norte.

En estas zonas de la Sierra, la intensidad de lluvia es el principal factor que desencadena los procesos erosivos que se inician con escurrimiento superficial, pero cuando la escorrentía y la infiltración actúan conjuntamente se producen movimientos de masa que ocasionan severos procesos de erosión, particularmente en las zonas altas y medias de las estribaciones de la cordillera. En las áreas secas y semiáridas de la parte baja de las estribaciones se presentan también procesos de erosión acelerada, debido a que los suelos tienen cobertura vegetal discontinua por el crecimiento escaso de la vegetación o por la sobreutilización del suelo para cultivos. Aun cuando la precipitación es baja, ésta se concentra en eventos de lluvias de intensidad media a fuerte que provoca severos procesos de erosión hídrica y eólica en suelos desprotegidos. Almeida *et al.*, definieron en 1984 las diferentes facetas de los procesos erosivos de la Sierra Centro y Sierra Sur y cuantificaron las áreas afectadas en ese momento (**Figura 7.22**); sin embargo, las fotografías que acompañan esta descripción fueron obtenidas por el proyecto Levantamiento de Cartografía Temática, escala 1: 25 000, coordinado por MAGAP-SIGTIERRAS (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015a).

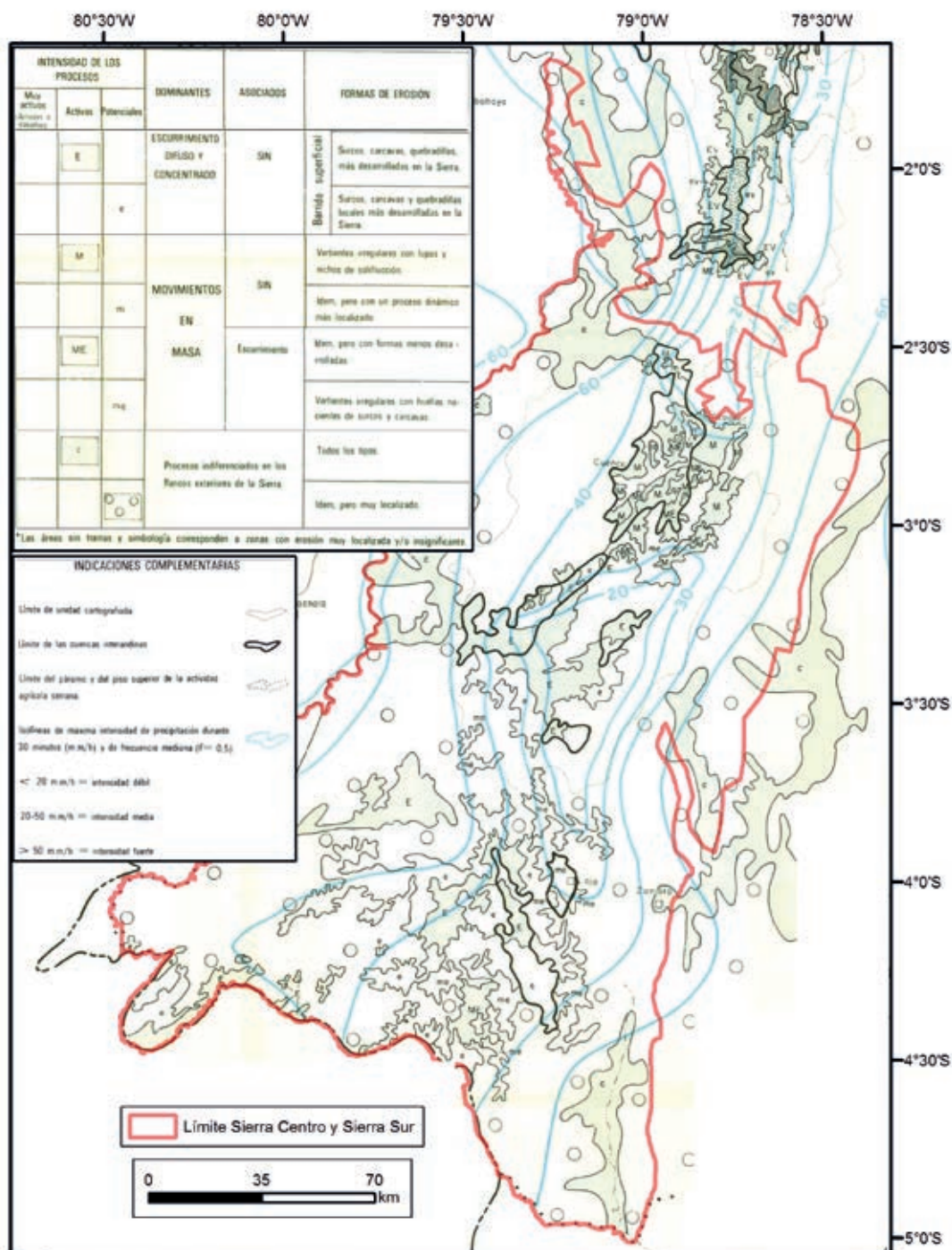


Figura 7.22. Mapa de los principales procesos erosivos en la Sierra Centro y Sierra Sur del Ecuador (Adaptado de Almeida *et al.*, 1984).

7.3.1. Principales procesos erosivos de la Sierra Centro y la Sierra Sur

7.3.1.1. Esgurrimiento difuso y concentrado activo (E)

Los procesos erosivos causados por los esgurrimientos difuso y concentrado se presentan en las áreas identificadas con la letra E en la **Figura 7.22**. El esgurrimiento difuso es difícil de precisar ya que es casi

imperceptible a simple vista y se presenta en forma de hilos de agua que tienden a conectarse y solamente se desplazan sobre la superficie del suelo sin poder penetrar. Cuando estos hilos de agua logran penetrar la superficie del suelo (generalmente en pendientes $> 20\%$) se forman pequeños surcos de escurrimiento concentrado de poca profundidad que luego forman cárcavas y quebradillas cuya profundidad varía desde pocos cm a más de un metro, e incluso se llegan a formar quebradas de varios metros de profundidad (Figuras 7.23 y 7.24).



Figura 7.23. Escurrimiento difuso y concentrado con formación de quebradillas y cárcavas en relieves con pendientes fuertes (40 al 70 %) de la Formación Saraguro, localizado en la parroquia San Sebastián de Yuluc, cantón Saraguro, provincia de Loja (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015g).



Figura 7.24. Escurrimiento difuso y concentrado en surcos, cárcavas y quebradillas en una vertiente con pendiente media a fuerte (25 a 40 %) de la Formación Saraguro, localizada en la parroquia Nabón, cantón Nabón, provincia de Azuay (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015f).

El escurrimiento difuso se encuentra siempre asociado al escurrimiento concentrado que aparece cuando aumenta la pendiente y la precipitación (la intensidad mínima de lluvia que puede originar escurrimiento superficial es de 10-15 mm h⁻¹). Este tipo de proceso erosivo se localiza en el contorno de las cuencas de Nabón, Saraguro, Santa Isabel y Loja, y afecta las vertientes que rodean las cuencas. El fondo de las cuencas puede ser afectado también por escurrimiento cuando las colinas son onduladas. La superficie de la Sierra Centro y Sierra Sur es de 34 819 km² y en 1984 se determinó que las áreas afectadas con este proceso erosivo eran de aproximadamente el 6 % de la superficie total.

7.3.1.2. *Esgurrimiento difuso y concentrado potencial (e)*

Estas zonas poseen características similares a E, pero solamente tienen un riesgo potencial de que aparezcan procesos erosivos. Se consideraba que con la presión sobre la tierra derivada del crecimiento poblacional habría que prestar atención a aquellos sectores agrícolas donde existen prácticas de labranza (manual o mecanizada) en sentido de la pendiente. Además, se debe considerar el papel depredador de la ganadería ovina y caprina con rebaños apreciables, que dejan el suelo sin protección vegetal. Este tipo de condición afectaba al 9 % de área total (**Figura 7.22**).

7.3.1.3. *Movimientos en masa activos (M)*

Estos procesos erosivos se encuentran localizados sobre relieves colinados y suelos arcillosos cubiertos de pastizales (**Figura 7.22**). El perfil topográfico de las vertientes es irregular a causa de las lupas y de los nichos de solifluxión (desplazamiento por gravedad masivo y lento de masas voluminosas de suelo promovido por la plasticidad y fluidez de las arcillas cuando se saturan con agua). Estos fenómenos son frecuentes en todas las zonas cubiertas por pastizales donde el pisoteo de los bovinos en relieves con pendiente, a veces pronunciada, favorece el desencadenamiento de movimientos en masa (**Figura 7.25**). En muchos sitios no es raro encontrar deslizamientos de vertientes enteras sobre el contacto del suelo con formaciones rocosas superficiales (**Figura 7.26**). Representaban el 2 % de área total en la Sierra Centro y Sierra Sur.



Figura 7.25. Procesos de erosión por movimientos en masa activos en una vertiente empinada de la Formación Biblián (pendiente 40 al 70 %), localizada en la parroquia Zhimad, cantón Gualaceo, provincia de Azuay (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015i).



Figura 7.26. Procesos de erosión por movimientos en masa activos en una vertiente heterogénea (pendiente del 40 al 70 %), localizada en la parroquia Chuquipata, cantón Azogues, provincia de Cañar (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015h).

7.3.1.4. Movimientos en masa potenciales (m)

Estas zonas presentan características muy similares a la categoría **M**, pero que presentan movimientos en masa muy localizados o poco activos debido a que las pendientes son menos pronunciadas que raramente sobrepasan el 40 % (**Figura 7.22**). Solamente representaban el 0.2 % de área total. Un ejemplo es la zona situada en el extremo norte de la ciudad de Cuenca.

7.3.1.5. Movimientos en masa y escurrimiento activos (ME)

Este tipo de procesos presentan características muy similares a aquellas de **E** y **M** en el mapa de la **Figura 7.22**. En estas zonas las vertientes son menos irregulares, están generalmente ocupadas por pastizales y la intensidad de la erosión es menos severa. Un ejemplo son las áreas localizadas al sureste de la ciudad de Cuenca que se encuentran alternando con los movimientos en masa predominantes (**Figura 7.27**). Representaban el 1 % de área total.

7.3.1.6. Movimientos en masa y escurrimiento concentrado potenciales (me)

Estos procesos podrían afectar a zonas sensibles como aquellas cubiertas con pastizales y con cultivos irrigados. La sobrecarga animal y la saturación del suelo por abuso del agua de irrigación favorecen el sellamiento superficial del suelo con una capa de arcillas reacomodada en forma horizontal que no permite la infiltración y promueve el escurrimiento (**Figura 7.28**). Cubrían el 4 % del área total.

7.3.1.7. Procesos indiferenciados activos (c)

Estos procesos erosivos ocurren en los flancos de la cordillera donde se realiza actividad agrícola. Se trata de áreas de producción localizadas en ambos lados de los ejes de comunicación cultivadas con pastizales, cultivos de subsistencia y bosques. Aquí se producen movimientos en masa en los suelos arcillosos, escurrimiento difuso

y concentrado en los suelos arenosos y limosos de origen granítico y movimientos de gravedad en las pendientes más fuertes (**Figura 7.29**). Representaban el 7 % de área ocupada por la Sierra Centro y La Sierra Sur.

7.3.1.8. *Procesos indiferenciados potenciales (círculos pequeños)*

Corresponden a potenciales procesos erosivos que podrían presentarse en los flancos de la cordillera donde no debería existir actividad agrícola y que deben mantener el medio natural forestal. Los relieves son muy fuertes que generalmente tienen pendientes abruptas de 70 a 100 %. Es un medio natural frágil en equilibrio, pero el desmonte exagerado y las fuertes precipitaciones provocan procesos erosivos catastróficos como el deslizamiento de tierra sobre las vertientes inestables.



Figura 7.27. Procesos de erosión por movimientos en masa y escurrimiento activos en una superficie de chevrón de la Formación Yunguilla, localizada en la parroquia Quingeo, cantón Cuenca, provincia de Azuay (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2016e).



Figura 7.28. Zona con riesgo de erosión por movimientos en masa y escurrimiento concentrado en un relieve colinado alto con pendiente fuerte (40 al 70 %), localizado en la parroquia Fundochamba, cantón Quilanga, provincia de Loja (MIDENA, *et al.*, 2012).



Figura 7.29. Procesos indiferenciados activos (de todo tipo) en un relieve montañoso de la Formación Macuchi, con pendiente muy fuerte (70 a 100 %), localizado en la parroquia Ducur, cantón Cañar, provincia de Cañar (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2016d).

7.3.2. Avance de la erosión en la Sierra Centro y Sierra Sur

La presión sobre la tierra derivada del crecimiento poblacional de las últimas décadas ha incrementado la pérdida de suelo por erosión a tasas mucho mayores que las previstas por Almeida *et al.* (1984), siendo más visibles en los flancos altos y medios de la cordillera y en las cuencas y valles inferiores. La extensiva tala de bosque para liberar áreas para cultivos y pastizales deja el suelo desprotegido y los potenciales procesos erosivos descritos para la región empezaron a ser más evidentes (Peters, *et al.*, 2013; Ochoa, *et al.*, 2016). Este cambio se evidencia en la **Figura 7.30** que muestra dos imágenes satelitales de una superficie que abarca 980 km² en los límites entre Azuay y Loja tomadas en los años 1986 y 2020. En la imagen de 1986 se observa que el 30 % de la superficie estaba afectada por erosión, mientras que en el año 2020 los procesos erosivos activos ascendieron al 70 % de área observada. Los procesos erosivos provocados por la acción antrópica son exacerbados por la caída de fuertes y concentradas precipitaciones que desencadenan procesos de escurrimiento superficial localizado que degradan completamente el suelo al formar cárcavas de diferente profundidad (**Figura 7.31**).

Una buena parte de la agricultura en la Sierra Centro y la Sierra Sur se desarrolla en lotes pequeños en áreas de pendiente inclinada que se preparan con azadón o con yunta. Aun cuando la preparación del suelo con yunta es menos erosiva que la labranza mecanizada, la remoción del suelo, la pendiente pronunciada y la lluvia concentrada provocan severa erosión (**Figura 7.32** y **7.33**). En la región no existen programas estatales o privados de conservación de suelos que puedan encarar el acelerado proceso erosivo a nivel de finca; sin embargo, varios proyectos de investigación han demostrado que varias medidas de conservación son efectivas para controlar la erosión en este tipo de suelos. La labranza en curvas de nivel, junto con fajas de pasto o árboles al contorno, ubicadas a intervalos cortos es una práctica básica que retarda y dispersa la escorrentía, deposita los sedimentos en la parte baja del lote y reduce la formación de cárcavas y lentamente va formando una terraza que finalmente termina en una estructura que reduce la escorrentía y evita la pérdida de suelo. En los callejones intermedios se siembran con diversos cultivos en un suelo que paulatinamente tiene mejores condiciones físicas, químicas y biológicas que facilitan el manejo (Dercon, *et al.*, 2003; Dercon, *et al.*, 2006; Dercon, *et al.*, 2007).

Por otro lado, los movimientos en masa son muy frecuentes en las partes altas y medias de la Sierra Centro como de la Sierra Sur causando en ocasiones eventos desastrosos como la pérdidas de caminos y otras obras de infraestructura, así como la destrucción de casas y pequeños pueblos (Ohl and Bussmann, 2004). Si bien las tierras de la región tienen predisposición para los movimientos en masa por el tipo de suelo y la inclinación de la pendiente, una buena proporción de estos eventos son iniciados por actividad antrópica, como la deforestación y el posterior uso del suelo para actividades agrícolas y ganaderas sin ninguna medida de conservación. La pérdida de la cobertura vegetal durante el proceso es también el origen de la gran cantidad de sedimentos que se acumulan lejos de la fuente y que causan problemas de difícil manejo (Molina, *et al.*, 2008).

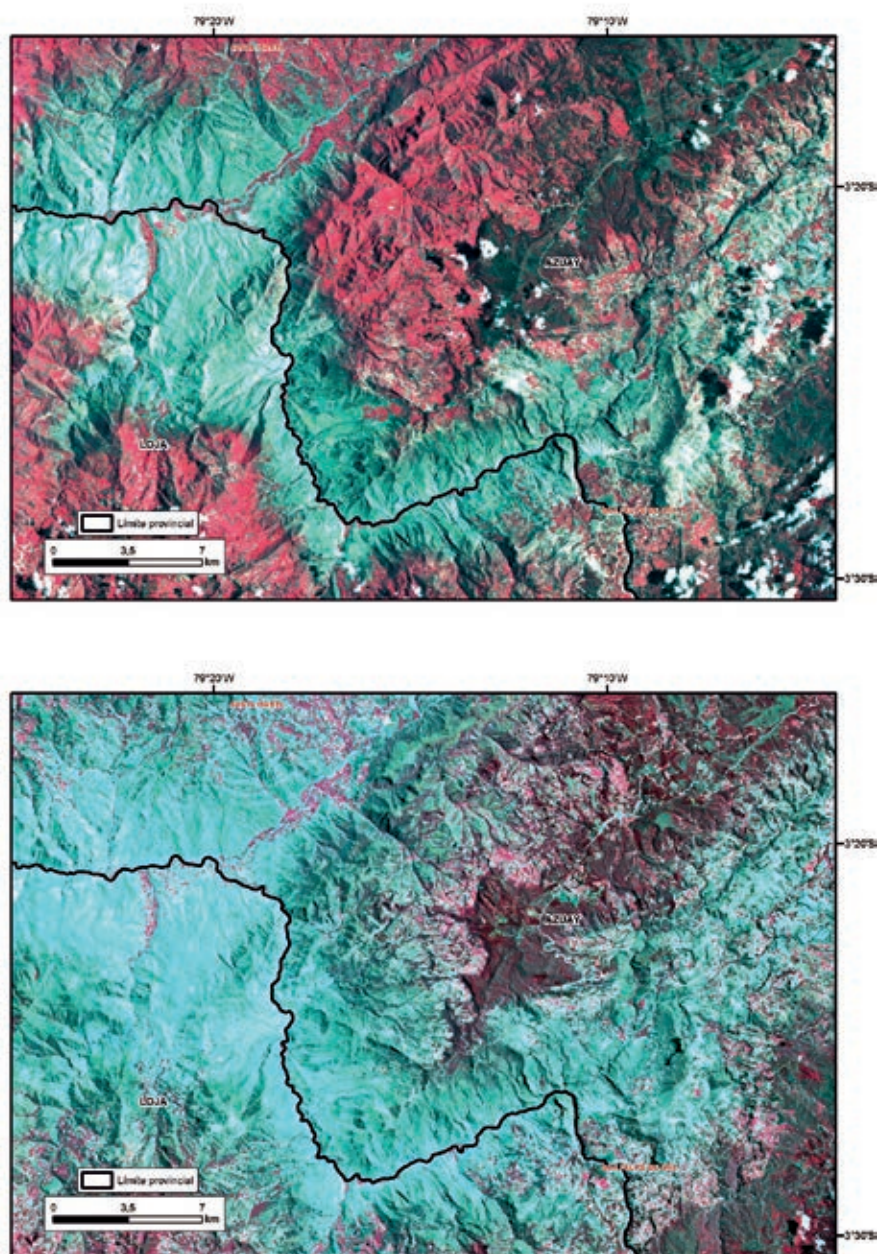


Figura 7.30. Avance de la erosión al sur de la provincia de Azuay y norte de la provincia de Loja determinada mediante imágenes satelitales de falso color infrarrojo. El color celeste claro representa las áreas erosionadas y el celeste oscuro áreas en proceso de erosión, mientras que el color rojo oscuro representa las áreas cubiertas por vegetación natural y el rojo claro los cultivos. Arriba: imagen del satélite Landsat 5, bandas 4, 3, 2 (RGB) del año 1986. Abajo: imagen del satélite Landsat 8, bandas 5, 4, 3 (RGB) del año 2020. Fuente: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.



Figura 7.31. Desencadenamiento de procesos erosivos debido a la tala y quema de bosque en una vertiente heterogénea, con pendiente media a fuerte (25 a 40 %), localizado en la parroquia Girón, cantón Girón, provincia de Azuay (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015e).



Figura 7.32. Erosión activa en lote de producción de maíz, el Pindal, Pindal, Loja.



Figura 7.33. Lote de producción de maíz en un área con alto potencial de erosión, Sumaypamba, Saraguro, Loja.

7.4. Erosión en la región Costa

La región Costa del Ecuador, con una superficie de 70.6 mil km², tiene una población de 8.5 millones de personas, la cuarta parte en la zona rural. La región contribuye con el 25 % de la población económicamente activa, con más de la mitad del producto interno bruto agropecuario nacional y es una fuente de bienes agro-exportables que generan ingresos de más de 4.5 mil millones de dólares anuales. La producción para consumo interno y exportación se origina en 219 809 unidades productivas que representan el 26.1 % de las unidades de producción agropecuaria (UPA's) del país (ESPAC, 2017; Fiallos, 2017; Pino, *et al.*, 2018). En este contexto, es imperativa la gestión sostenible de los recursos naturales, particularmente suelo y agua, para proteger el ambiente, alcanzar la seguridad y soberanía alimentaria, dinamizar la producción para el consumo interno y la exportación, factores que contribuyen al fortalecimiento de la economía regional y nacional.

La Agricultura sin adecuadas prácticas de manejo deteriora el suelo, condición que reduce el potencial agrícola, ralentiza el desarrollo y promueve la migración de la población joven del campo a los centros urbanos. Novillo, *et al.* (2018), al comparar el efecto de varios sistemas de producción de la Costa con el bosque natural, detectaron un claro declinamiento de la calidad de las propiedades físicas del suelo cuando la tierra se utiliza para agricultura. Controlar los factores que promueven el deterioro del suelo representa un gran desafío que carece de la atención debida en los ámbitos público y privado. Amplias zonas de la Costa son vulnerables a la pérdida de la capa superior del suelo por erosión hídrica, condición que deprime el rendimiento de los cultivos y desvaloriza la tierra. El proceso de erosión reduce la calidad del suelo debido a que desgasta la fertilidad, afecta la estructura y restringe la infiltración, situación que aumenta el escurrimiento superficial, disminuye las reservas de agua subterránea y anula por varios meses al año el flujo de los pequeños cauces que son fuentes de agua para la producción agropecuaria.

Un gran porcentaje de la producción de banano, cacao, palma aceitera, plátano, arroz, maíz, soya, piña, frutales, carne y leche, entre otros, proviene de las cuatro principales cuencas hidrográficas (62.5 mil km²) que drenan la mayoría de las 4.7 millones de hectáreas cultivadas en la Costa (FLACSO, *et al.*, 2008). La

red de drenaje (bajos, esteros, riachuelos y ríos) en cada una de las cuencas se articula a los ejes fluviales conformados por los ríos Babahoyo-Daule-Guayas, Esmeraldas-Blanco-Quinindé, Cayapas-Onzole y Carrizal-Chone. La cuenca del río Guayas, con 34 mil km², es la más grande de la región, cuenta con 16 zonas climáticas, 6 órdenes de suelos (CLIRSEN, *et al.*, 2009) y alberga una población cercana al 40 % del total nacional (SENAGUA-DED, 2009). Es necesario proteger el suelo de la erosión hídrica en las secciones media y alta de todas las cuencas para salvaguardar el suministro de servicios ambientales a los múltiples nichos ecológicos, mantener e incrementar la producción agropecuaria y, en general, generar el bienestar de la población.

7.4.1. Condiciones de la Costa relevantes para la erosión

Desde la perspectiva geológica, gran parte de la región Costa se compone de zonas de acumulación y sedimentación de materiales provenientes de la pendiente occidental de la cordillera de Los Andes. Sin embargo, los sedimentos también se originan en una franja montañosa conocida como cordillera Costera, muy antigua y discontinua, con altitudes que no rebasan los 800 m s. n. m., que de igual forma modifica el relieve de la región. Esta estructura se extiende desde el cerro Santa Ana en Guayaquil, continúa con los cerros de Chongón y Colonche, Cerro de Hojas, Paján y Panca en Manabí, avanzando hasta el sur de la provincia de Esmeraldas. Las cuencas del sistema fluvial Carrizal-Chone y del río Portoviejo drenan parte de la pendiente occidental de esta franja montañosa cuando cruzan por Manabí. El flujo del río Daule se alimenta de varios ríos menores que nacen en la pendiente oriental de la cordillera de la Costera (CEDEGE, 1970).

Estas particularidades geomorfológicas han formado las zonas de pie de monte, mesetas, colinas, valles y planicies aluviales que conforman el macro relieve de la región. El clima, el macro relieve y la topografía del terreno han promovido el desarrollo de suelos con diferentes capacidades de uso para la actividad agrícola, capacidades que también van acompañadas de diferentes amenazas de degradación que varían en función de la intensidad de uso del suelo. La erosión hídrica es el principal proceso de degradación de estos suelos y es la que suministra los sedimentos que llegan a los ríos y valles que cruzan las secciones medias y altas de las cuencas hidrográficas. La **Figura 7.34** muestra terrenos cultivados en ladera que bordean un pequeño valle formado por el río Moraspungo que fluye a la planicie costera desde un sector de pie de monte andino, en la zona del mismo nombre, provincia de Cotopaxi. En la **Figura 7.35** se visualiza el extenso valle fluvial construido por el río Calabí antes de cruzar la población de Ventanas, provincia de Los Ríos. La **Figura 7.36** presenta las planicies aluviales del gran valle del río Quevedo cerca de la ciudad del mismo nombre. En todos los casos, la erosión del suelo en los sitios altos de las laderas es la fuente de los sedimentos que se transportan por los ríos que cruzan estos valles. En el periodo lluvioso la coloración del agua cambia a un color café en respuesta a la gran cantidad de partículas de suelo en suspensión.



Figura 7.34. Valle formado por el río Moraspungo en el pie de monte de la zona del mismo nombre, provincia de Cotopaxi, con laderas cultivadas vulnerables a la erosión hídrica y terrenos con suelo aluvial en los costados del cauce.



Figura 7.35. Gran valle aluvial junto al pie de monte occidental de la cordillera Andina, con suelos formados por los sedimentos arrastrados y depositados por el río Calabí durante miles de años de recorrido y desbordamientos frecuentes. Zona de Quinsaloma, Provincia de Los Ríos.



Figura 7.36. El río Quevedo, que cruza el valle y ciudad del mismo nombre, muestra caudal completo y la típica coloración del agua que arrastra sedimentos originados por erosión hídrica en las partes altas de su recorrido.

Aunque existen diferencias importantes dentro de la región, en general, los suelos de la Costa son fértiles. A medida que las condiciones ambientales cambian con la gradiente altitudinal, desde un valle interandino hacia la planicie costera, la fertilidad del suelo aumenta reflejándose en valores más altos de CIC y pH (García y Schlatter, 2012). Sin embargo, el uso intenso del suelo, que generalmente sobrepasa la capacidad de uso, y la ausencia de prácticas conservacionistas en los suelos ubicados en ladera aumenta el riesgo de erosión hídrica en zonas lluviosas con relieve irregular (**Figura 7.37**). Las acciones preventivas para minimizar el proceso erosivo y para recuperar la productividad de las zonas erosionadas son los más grandes desafíos para la gestión del suelo en las cuencas hidrográficas de la Costa. La **Figura 7.38** muestra la escasa profundidad del suelo en un terreno con una pendiente pronunciada que todavía dispone de cobertura semi arbórea e ilustra bien el riesgo de erosión hídrica que amenaza a cientos de miles de hectáreas cultivadas en la región cuando desaparece la cobertura.



Figura 7.37. Huerta tradicional de cacao, con especies semi arbóreas intercaladas, que brinda una buena cobertura al suelo ubicada en una ladera empinada (derecha). Cuando se elimina parcialmente la cobertura para la siembra de maíz el suelo queda muy vulnerable a la erosión hídrica (izquierda). Zona de Quevedo, provincia de Los Ríos.



Figura 7.38. Cobertura vegetal semi arbórea en un terreno de ladera que protege contra la erosión hídrica a un fino horizonte de suelo superficial asentado sobre cenizas volcánicas antiguas de avanzada meteorización y baja fertilidad. Zona de Ventanas, provincia de Los Ríos.

La mayor superficie de la franja costera se encuentra entre 10 y 600 m s. n. m., en la categoría bioclimática de bosque húmedo tropical y subhúmedo tropical, con temperaturas y precipitaciones medias anuales en el rango de 23 - 25 °C y 1 000 - 3 000 mm, respectivamente.

La variación de la actividad biológica en los múltiples nichos ecológicos depende de la distribución geográfica y temporal de las lluvias, relieve del paisaje y calidad del suelo antes que de los cambios menores de temperatura (Cañadas, 1983). Según el análisis de los patrones de lluvia de la región Costa, el periodo seco se amplía de norte a sur y de este a oeste, mientras que la precipitación aumenta de sur a norte y de oeste a este. La distribución de la precipitación va mejorando del centro hacia el norte de la región, aunque sin perder estacionalidad. El periodo lluvioso empieza en diciembre y, dependiendo de la zona y cuenca hidrográfica, finaliza entre abril y julio (INAMHI, 2015). La estacionalidad y la intensidad de las lluvias en el primer trimestre de cada año, el relieve del terreno, la textura de la capa superficial del suelo y la cobertura vegetal determinan la vulnerabilidad del suelo a la erosión.

En algunas zonas de la Costa, los depósitos antiguos de ceniza de avanzada meteorización han sido rejuvenecidos por la deposición de cenizas provenientes de actividad volcánica reciente, a veces en una capa superficial > 1 m de profundidad (**Figura 7.39**). El rejuvenecimiento es menor a medida que las zonas se alejan de la cordillera andina, dejando al final solamente una capa superficial de 10 a 20 cm de nueva ceniza, como sucede en la zona de relieves ondulados de El Empalme-Balzar. En la zona maicera de Balzar, antes de irrumpir en la llanura aluvial del río Daule (principal zona arrocería del Ecuador), el relieve del paisaje es ondulado con suelos de textura franco arcillosa con arcillas de tipo montmorillonítico que aportan a su fertilidad (**Figura 7.40**). Existen también paisajes con relieves ondulados y suelos arcillosos formados de cenizas antiguas de avanzada meteorización dominados por arcillas de tipo caolinítico/óxidos hidratados de hierro en la zona de Zapotal-Ventanas-Palenque. El factor común de todos estos paisajes es la presencia de cientos de miles de hectáreas de terrenos de ladera utilizados para el monocultivo del maíz, un sistema de producción con un alto riesgo de pérdida de suelo por erosión hídrica (**Figura 7.41**). Al recorrer las fincas maiceras se nota que no se han incorporado prácticas de conservación en el manejo del suelo.



Figura 7.39. Perfil de un suelo fértil, franco limoso y profundo (Hapludands) de la serie Pichilingue con una capa de cenizas volcánicas de reciente deposición y considerable espesor. Aun con mínima inclinación del terreno, estos suelos son altamente vulnerables a la erosión hídrica. Zona de Quevedo, provincia de Los Ríos.



Figura 7.40. Relieve típico de una finca recién sembrada manualmente con maíz en terrenos de ladera que presentan suelos con predominancia de arcillas de tipo montmorillonítico y alta vulnerabilidad a la erosión hídrica. Zona de Balzar, provincia del Guayas.



Figura 7.41. Cultivo de maíz en una meseta disectada por una vía natural de drenaje con terrenos con claras señales de desgaste del suelo debido a erosión laminar y por surcos. Zona de Ventanas, Provincia de Los Ríos.

En la franja de transición entre la sección media y las planicies aluviales de la Cuenca del Guayas es frecuente la presencia de zonas con suelos aluviales en bajos o “pozas” donde se acumulan importantes volúmenes de agua y sedimentos provenientes de la erosión de los suelos en los terrenos de colinas y mesetas colindantes cultivados con maíz en el periodo lluvioso. La profundidad del nivel de agua en las pozas imposibilita el trabajo agrícola en este periodo, sin embargo, a medida que el nivel disminuye y el agua retrocede al avanzar el periodo seco se puede sembrar gradualmente arroz de trasplante (**Figura 7.42**). El piso de las pozas se rejuvenece constantemente con la sedimentación del suelo perdido por erosión de los terrenos de ladera que las bordean.



Figura 7.42. Sistemas de producción de arroz de pozas con suelos que se benefician de los sedimentos que la erosión hídrica transporta desde los terrenos de ladera circundantes dedicados a la producción de maíz en la época lluviosa ubicados en la franja de transición a la sección baja de la Cuenca del Guayas. Zona de Pueblo Viejo, provincia Los Ríos.

Las zonas bajas, bordeadas por terrenos altos y lomas colindantes, se conectan conformando micro cuencas y pequeños cauces que atraviesan las fincas tejiendo redes de drenaje que finalmente se articulan con los grandes sistemas fluviales que drenan las cuencas hidrográficas de la Costa. El proceso de erosión empieza con el uso agrícola de los terrenos de ladera. La **Figura 7.43** ilustra esta situación en una finca maicera en la zona de Palenque, Los Ríos. Se observa un terreno bajo sembrado con arroz que en el periodo lluvioso se convierte parcialmente en el lecho de un cauce pequeño, angosto y superficial que transporta sedimentos desbordándose de cuando en cuando, pero sin fuerza para dañar al cultivo. En realidad, es un micro valle que se rejuvenece permanentemente al recibir sedimentos de las laderas adyacentes sembradas con maíz, aunque esto no es garantía de que los desequilibrios nutricionales estén ausentes como se observa en este caso en el cultivo de arroz (Vergara, 2019). El flujo de agua desaparece al finalizar las lluvias, pero el terreno conserva suficiente humedad para producir un ciclo de maíz, frejol o maní en el periodo seco.



Figura 7.43. La disposición del cultivo de maíz en terreno de ladera vulnerable a la erosión hídrica y de arroz en el terreno bajo que actúa como drenaje natural, es un escenario útil para explicar a estudiantes de Agronomía la dinámica del desgaste del suelo y la posterior acumulación de sedimentos. Zona de Palenque, Provincia de Los Ríos.

El micro relieve dentro de las fincas causa grandes diferencias en la calidad del suelo y en el flujo de agua en las partes bajas. El típico paisaje de una micro cuenca sembrada con maíz en la zona de Mocache, Los Ríos, se visualiza en la **Figura 7.44**. El sedimento acumulado y visible en los terrenos más bajos es la evidencia de un activo proceso erosivo que desgasta el suelo de los terrenos de ladera colindantes. Con seguridad, en pocos, años la rentabilidad de la producción de maíz en esta finca sufrirá un descenso significativo, incluso con un desempeño económico negativo (Chila, 2021). La **Figura 7.45** muestra un terreno de ladera dedicado al monocultivo de maíz en la zona de Ventanas, Los Ríos, exhibiendo un agudo desgaste del suelo por erosión hídrica que deja expuesto el subsuelo, circunstancia que hizo que el nivel de materia orgánica declinara hasta 0.8 %.



Figura 7.44. Paisaje de una micro cuenca típica en una finca maicera de la Zona de Mocache, Provincia de Los Ríos, que exhibe un activo proceso de erosión hídrica que con el tiempo irá acortando la rentabilidad del cultivo, incluso hasta alcanzar cifras negativas.



Figura 7.45. Terreno de ladera en una micro cuenca dedicado al monocultivo de maíz con síntomas de un severo desgaste por erosión hídrica que hizo descender el contenido de materia orgánica hasta 0.8 %. Zona de Ventanas, provincia de Los Ríos.

Cultivos como el cacao pierden significativamente su capacidad para acumular rendimiento cuando se siembran en suelos de ladera afectados por la erosión, llegando incluso a producir la mitad con respecto al rendimiento de los mismos cultivos sembrados a poca distancia en zonas con relieve plano (Amores, *et al.*, 2014). En la **Figura 7.46** se observa el efecto negativo de la erosión en las plantas de café sembradas en un lote ubicado en una ladera erosionada y más arcillosa (antes con maíz) en la zona de Quevedo que muestran pobre crecimiento y defoliación en comparación con las plantas en la franja con más humedad bordeando el pie de la ladera. La clorosis se debe a la pobre nutrición del cultivo establecido en el suelo de menor fertilidad, condición acentuada por la insuficiencia hídrica en el periodo seco.



Figura 7.46. Plantas de café en terreno de ladera que muestran aguda clorosis comparadas con aquellas que exhiben una mejor condición nutricional al pie de la colina en respuesta a la acumulación de sedimentos producidos por la erosión. Zona de Quevedo, provincia de Los Ríos.

Situaciones como las descritas son frecuentes en todas las cuencas hidrográficas de la Costa, incluyendo aquellas de bosque seco tropical como la del río Chongón en la península de Santa Elena. Aunque escasa pero concentrada, la precipitación recibida (500 a 600 mm de lluvia anuales) justifica el uso de medidas de conservación del suelo (**Figura 7.47**), pero estas no son habituales. En general, en todas las zonas afectadas, la erosión no capta la atención de los agricultores al inicio del proceso y es alarma solamente cuando aparecen descensos importantes de la producción.



Figura 7.47. Plantación de café robusta con hileras trazadas siguiendo las curvas a nivel para minimizar la erosión hídrica en una zona de bosque subhúmedo tropical cerca de Cerecita, provincia de Santa Elena.

Las planicies aluviales en las zonas más bajas se rejuvenecen continuamente al captar los sedimentos arrastrados por los ríos desde las secciones medias y altas de las cuencas hidrográficas. Se considera que en la cuenca del río Guayas, la más productiva del Ecuador, más del 80 % de la superficie cultivada presenta alto riesgo de erosión hídrica con pérdidas potenciales de suelo entre 10 y 200 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, dependiendo de la localización en la cuenca. Por ejemplo, se ha estimado que las pérdidas potenciales de suelo de la subcuenca del río Sibimbe en el pie de monte de la zona de Las Naves, provincia de Bolívar, es de 348 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, mientras que en la subcuenca del río Babahoyo, en la llanura aluvial de la Cuenca del Guayas, desciende a 31 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (IDEA, 1988). Por otro lado, la zonificación del riesgo de erosión hídrica en la provincia de Manabí demostró que el 19.4 % de la superficie ($\sim 365\,000$ hectáreas) tiene alto riesgo de degradación del suelo por erosión hídrica y que la actividad humana de los últimos 50 años ha reducido significativamente los recursos forestales nativos, eliminando la cobertura vegetal con el consecuente incremento de la escorrentía y erosión (Zambrano, *et al.*, 2020), un fenómeno extrapolable a otras zonas de la Costa (**Figura 7.48**). Por otro lado, también se ha estimado que las pérdidas potenciales de suelo por erosión hídrica en la subcuenca del río Portoviejo, provincia de Manabí, podrían variar de 0-5 t $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en el 75 % del área, de 5-10 t $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en el 22 % y que en el 3 % restante existe el potencial de pérdidas mayores a 10 t $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Jaramillo, 2015). Finalmente, un estudio sobre los efectos del cambio de uso del suelo en la Costa asignó a las provincias del Oro y Esmeraldas las tasas más altas de pérdida de la vegetación natural y, además, reportó pérdidas de suelo $> 100 \text{ t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en ciertos sitios de la provincia de Manabí (Pineda, 2019).



Figura 7.48. Colinas de pie de monte transformadas en potreros luego de la eliminación de la cobertura arbórea natural a pocos kilómetros del inicio de la llanura de la región Costa. Zona de La Maná, provincia de Cotopaxi.

El riesgo de erosión en las zonas bajas (planicies aluviales) de las cuencas hidrográficas no es importante, aunque en el periodo lluvioso el riesgo de inundación y drenaje insuficiente restringe el uso de algunas áreas para la agricultura, inclusive para el cultivo de arroz en terrenos demasiado bajos. Por el contrario, los terrenos con suelos aluviales de banco (terrazas aluviales a mayor altitud sobre el nivel del río) que son francos, profundos y mejor drenados, están entre los mejores suelos para la agricultura por su alta fertilidad (**Figura 7.49**), aunque con frecuencia presentan insuficiencia de fósforo (Jiménez, 2020). Una proporción importante de la superficie sembrada con banano se asienta en este tipo de suelos (Buste, 2019).



Figura 7.49. Suelos aluviales en terrazas de banco impulsan el desarrollo vigoroso del maíz (y plátano al fondo) en comparación con el menor crecimiento de las plantas en la terraza aluvial aledaña más baja, debido a restricciones de drenaje y nivel freático del río Quevedo que fluye a pocos metros.

El flujo de los grandes ríos de la Costa transporta y deposita una gran carga de sedimentos a lo largo de su curso y desembocadura en el océano Pacífico. La formación de islotes en continuo crecimiento en el río Guayas, frente de la ciudad de Guayaquil, es consecuencia de la sedimentación de partículas de suelo desprendidas por el proceso erosivo que va de la mano con la creciente actividad agrícola en la sección media y alta de la Cuenca del Guayas sin inclusión de prácticas de conservación del suelo. Cabe señalar que hasta la década de 1950 la erosión hídrica no era un factor importante de degradación del suelo en la Costa porque la agricultura con métodos intensivos de producción no era frecuente.

Las leyes de reforma agraria en las décadas de 1960 y 1970 y la política de “sembrar el petróleo” promulgadas en la década de 1970, incentivaron la colonización, deforestación y fragmentación de los predios agrícolas de la Costa. Una práctica común era la siembra de cultivos perennes para asegurar la tenencia de la tierra, pero desde la década de 1970 en adelante tomaron impulso los cultivos mecanizados de ciclo corto (maíz y soya), principalmente en la zona central de la Cuenca del río Guayas. La adopción generalizada de la mecanización estuvo divorciada de las prácticas de conservación del suelo y fue el inicio de un largo periodo de degradación de este recurso que sigue hasta la actualidad. Luego del fenómeno del Niño en 1981, no fueron pocos los agricultores que sembraron arroz con maquinaria en suelos de tierras altas con áreas de ladera, una apuesta riesgosa que se discontinuó en pocos años, pero que mientras se mantuvo dio lugar a impactantes escenas de erosión hídrica. En la zona de Quevedo se produjo un proceso de erosión muy activo por la excesiva pulverización del suelo para facilitar el trabajo de las máquinas sembradoras, práctica que, inmediatamente después de la siembra, iba seguida por el apisonamiento del suelo para asegurar la uniformidad de la germinación de la semilla.

Ya sea que se trate de agricultura manual o mecanizada en predios agrícolas de cualquier tamaño, los lotes planos o con poca inclinación son los que primero entran en producción por la facilidad para trabajarlos. Con el paso del tiempo se van incorporando lotes localizados en pendientes cada vez con mayor inclinación (**Figura 7.50**), incluso reemplazando cultivos conservacionistas como las huertas tradicionales de cacao para generar, mediante la producción de maíz, un mayor flujo de efectivo en el corto plazo. Esta secuencia de uso de la tierra, que incorpora a la producción suelos en terrenos cada vez más inclinados sin medidas conservacionistas, es una práctica que se mantiene hasta la actualidad impulsando un activo proceso de erosión hídrica en la región.



Figura 7.50. La eliminación de la vegetación semi arbórea y arbustiva intercalada con huertas tradicionales de cacao en terrenos inclinados libera espacio para sembrar maíz, dejando el suelo sin cobertura y altamente vulnerable a la erosión como se observa en este lote localizado en la zona de Mocache, provincia de Los Ríos.

La fuerza del agua en los cauces de los ríos y las inundaciones por desbordamiento son los factores que remodelan continuamente el paisaje de las fincas. El riesgo del recorte de los barrancos y erosión de las orillas de los ríos por acción del rápido y voluminoso flujo del agua durante el periodo lluvioso está siempre presente y puede reducir la superficie de los terrenos de cultivo aledaños (**Figura 7.51**). Por ejemplo, el barranco en el curso del río Quevedo, un sector de la Estación Experimental Pichilingue del INIAP, ha retrocedido alrededor de 40 m en 30 años debido al socavamiento causado por el flujo del agua; no es difícil imaginar lo que puede ocurrir en las próximas décadas. En el mismo sector, unos pocos cientos de metros aguas abajo, la corriente había recortado los bordes de pequeñas fincas asentadas en suelos aluviales formados por el mismo río. Los propietarios de los predios afectados se disputaban la tenencia de un islote en el centro del río que utilizaban para la siembra comercial de sandía en el periodo seco, cuando bajaba el nivel del agua; cada uno argumentaba que el islote se había formado con “tierra” de sus predios. Estas vivencias reflejan otra dimensión de la erosión hídrica, esta vez constituida por el socavamiento de las orillas de los ríos como fuente de sedimentos que terminan rellenando los cauces y acumulándose en las partes más planas y bajas de las cuencas hidrográficas.



Figura 7.51. El caudaloso flujo del río Chipe durante el periodo lluvioso socava los terrenos desprotegidos de las fincas que colindan con el cauce, alimentando su carga de sedimentos. Zona de Valencia, provincia de Los Ríos.

7.4.2. Producción de maíz y erosión

El sistema productivo más vulnerable a la erosión hídrica en la región Costa es el monocultivo de maíz. La superficie cultivada con maíz en la región es de alrededor de 250 000 hectáreas, la mayoría en manos de pequeños productores con extensiones que varían entre 1 y 5 hectáreas. Con una producción anual estimada de 1.5 millones de toneladas de grano, el maíz es el pilar de una cadena agro alimentaria para consumo directo del grano y producción de proteína animal (huevos, carne de pollo y carne de cerdo) valorada en miles de millones de dólares y que en buena medida está amenazada por la erosión del suelo. Gran parte de esta producción, si no es toda, se origina en zonas con topografía irregular, estimándose que al menos dos tercios de la superficie dedicada a este cultivo se siembra en suelos de terrenos inclinados. Estudios conducidos en fincas de las zonas de Mocache, Ventanas y Balzar revelan que el 60, 86 y 50 % de la superficie dedicada al maíz está en manos de pequeños productores ubicados en terrenos de ladera con

pendientes de 2.5 a > 30 %, 2.5 a 30 % y 15 a 40 %, respectivamente (Aguayo, 2016; Chila, 2021; Rosado, 2021). Por otro lado, la evaluación del rendimiento de grano en 20 fincas de la zona de Ventanas, provincia de Los Ríos, reveló que el 14 % de la superficie sembrada con maíz corresponde a terrenos planos con un rendimiento promedio de 9 t ha⁻¹, mientras que el 86 % se ubica en terrenos con pendientes que van de 2.5 a > 30 % con un rendimiento promedio de 7.8 t ha⁻¹. La media de rendimiento retrocedió 11.2 % en terrenos inclinados mientras que en terrenos con pendiente del ≥ 30 % el retroceso fue del 28 %. Como era de esperarse, estos resultados causaron cambios importantes del retorno por cada dólar invertido pasando de US \$ 0.86 en terrenos planos a US \$ 0.16 en terrenos inclinados (Rosado, 2021). La **Figura 7.52** visualiza el paisaje típico de un campo maicero con terrenos susceptibles a la erosión.



Figura 7.52. Terrenos en mesetas colinadas susceptibles a erosión hídrica sembrados manualmente con maíz. Zona de Balzar, provincia de Los Guayas.

Las siembras de maíz se realizan manualmente con cero labranza, excepto en superficies medianas y grandes con acceso a la mecanización. El sistema de cero labranza mitiga, hasta cierto punto, la erosión en terrenos con pendientes ligeras (Amores, 1992). La preparación para la siembra usualmente incluye el apilamiento de los residuos de la cosecha anterior y los residuos del corte de la vegetación espontánea para la posterior quema entre septiembre y noviembre con el objetivo de dejar el suelo sin cobertura para facilitar la siembra y demás labores agrícolas. La temperatura de la quema inactiva las semillas de las malezas en la capa superficial del suelo, eliminando la competencia por agua y nutrientes y reduciendo la incidencia de insectos-plaga. Además, las cenizas de la quema dejan en el suelo un importante aporte de nutrientes que promueve un crecimiento vigoroso del maíz (**Figura 7.53**) con plantas más rendidoras, cuando la siembra coincide con las franjas o sitios donde se depositaron las cenizas acumuladas. El beneficio de la ceniza para la nutrición del maíz es claro, sin embargo, los productores no parecen estar conscientes de que la quema de los restos vegetales restringe el secuestro de carbono orgánico, al igual que el reciclamiento de nutrientes provenientes de la descomposición de dichos residuos, dos importantes servicios ambientales del suelo. Por otro lado, la eliminación de la cobertura deja desprotegida la superficie y como la siembra coincide con el inicio de las lluvias, la escorrentía en terrenos de ladera arrastra con facilidad tanto el suelo como las cenizas. Las señales del desgaste se reflejan en la reducción de la calidad del suelo, en la disminución de biomasa producida y finalmente en la rentabilidad del cultivo. Los **Cuadros 7.7** y **7.8** resumen esta situación en fincas localizadas en Mocache, provincia de Los Ríos, y Balzar, provincia del Guayas.



Figura 7.53. Plantas de maíz sembradas en un terreno con poca inclinación, pero vulnerable a la erosión hídrica, coinciden en un sitio de acumulación de cenizas de la quema de residuos vegetales y exhiben más vigor que aquellas en un lugar sin cenizas, aun después de la primera fertilización con nitrógeno. Zona del Empalme, provincia del Guayas.

Cuadro 7.7. Biomasa (panca y mazorca), rendimiento de grano y rentabilidad del maíz en lotes comerciales fertilizados con NPK en suelo plano y de ladera en el 2016*. Mocache, Los Ríos (Aguayo, 2016).

Terreno	Biomasa	Rendimiento	Retorno US \$ ⁻¹ invertido
	t ha ⁻¹		
Plano	9.9	2.9	0.45
Ladera (pendiente 28 %)	9.0	2.2	0.31

* En el 2016 la incidencia de la enfermedad Mancha de Asfalto redujo en 2/3 el rendimiento potencial de maíz en esta zona.

Cuadro 7.8. Eficiencia de uso del N, peso de 100 semillas, rendimiento de grano y rentabilidad del maíz en lotes comerciales fertilizados con NPK en suelos de terreno plano y de ladera en el 2020. Balzar, Guayas (Chila, 2021).

Terreno	Eficiencia de uso de N*	Peso de 100 semillas	Rendimiento	Retorno US \$ ⁻¹ Invertido
		g	t ha ⁻¹	US \$
Plano	0.76	31	10.4	0.93
Ladera (pendiente 39 %)	0.55	28	8.4	0.62

* Relación entre N absorbido por el cultivo y la dosis de N aplicado como fertilizante ha⁻¹.

La pobre gestión del suelo, recurso básico de la agricultura, en la principal zona productora de maíz en el centro de la Cuenca del río Guayas (Quevedo, Mocache, Buena Fe, Palenque, Ventanas, El Empalme y Balzar) ha sido reportada por varios autores (Aguayo, 2016; Tigreros, 2017; Chila y Amores, 2019; Guadamud y Amores, 2019; Chila, 2021; Rosado, 2021). La escasa cobertura del suelo y la ausencia de medidas conservacionistas, incluso la más básica que es la siembra en contorno, están acelerando el

proceso erosivo y desgastando a paso acelerado la capacidad productiva del suelo en las fincas maiceras dentro de las microcuencas. El desgaste es promovido por una cultura de desconocimiento, nula inversión en prácticas de conservación, fraccionamiento de la tierra y escasa percepción del valor de los recursos suelo y agua para el desarrollo agropecuario. El deterioro del suelo puede avanzar a un ritmo acelerado incluso en terrenos con suelos profundos, buena capacidad de uso y poca inclinación. La **Figura 7.54** muestra la fuerza destructora de la erosión hídrica de un suelo franco, fértil y profundo en un terreno con poca inclinación en la zona de Quevedo, Los Ríos (en la **Figura 7.39** se presenta el perfil de un suelo de las mismas características).



Figura 7.54. Un suelo de buena fertilidad, franco-limoso y profundo, afectado por erosión hídrica debido a una ligera inclinación del terreno, condición que sin control puede conducir a la formación de una cárcava en este campo de maíz. Zona de Quevedo, provincia de Los Ríos.

Como se ha dicho, no existen obras de conservación de suelos en los terrenos de ladera de la zona maicera de la Costa, en el mejor de los casos y en pocas fincas, se observa que las hileras del cultivo son trazadas de manera transversal a la dirección de la pendiente, aunque nunca siguiendo curvas de contorno a nivel (**Figura 7.55**). En este contexto, viene al caso comentar que un canal de desviación apoyado por una terraza construidos como parte de una iniciativa para controlar la escorrentía y erosión en un lote maicero de la zona de Quevedo tuvo corta vida. La infraestructura estuvo en pie durante un par de años ya que el terreno se aplanó con tractor para facilitar la preparación del suelo para la siembra mecanizada, en una clara muestra del desconocimiento y ausencia de cultura conservacionista. Con frecuencia, la insuficiente rentabilidad del cultivo de maíz en suelos de ladera ha conducido a su sustitución por cultivos perennes como frutales, cacao, piña y otros, a pesar de que el suelo ya se ha deteriorado, condición que termina traducándose en menores tasas de crecimiento de las plantas de los nuevos cultivos (**Figura 7.56**).



Figura 7.55. Aunque sembradas a través de la pendiente, la orientación de las hileras en este campo de maíz difícilmente disminuye la vulnerabilidad del suelo a la erosión hídrica, como lo sugieren las señales de desgaste en la superficie del suelo y pobre nutrición del cultivo. Zona de Ventanas, Provincia de Los Ríos.



Figura 7.56. Terrenos de ladera sembrados recientemente con cacao en suelos desgastados por la erosión hídrica y que antes estaban dedicados al monocultivo de maíz. Zona de Mocache, provincia de Los Ríos.

7.4.3. Comentarios finales sobre la erosión en la Costa

La inclusión de buenas prácticas de manejo del suelo en los sistemas de cultivo de la Costa es un componente clave para el objetivo de lograr la seguridad y soberanía alimentaria del país y generar producción exportable para contribuir a la economía del Ecuador. Sin embargo, la erosión hídrica degrada la capacidad productiva de los suelos vulnerables en gran parte de la superficie cultivada de la región. La erosión en los terrenos de las secciones media y alta de las cuencas son la fuente de los materiales sedimentados en las llanuras bajas. El monocultivo del maíz en terrenos de ladera es el sistema de producción más vulnerable a la pérdida de suelo por erosión hídrica, aunque sistemas de producción con otros cultivos también son afectados, posiblemente en menor cuantía. A pesar del evidente proceso erosivo, no se utilizan prácticas de conservación del suelo en la producción de maíz, incluyendo la más básica que es el trazo de las hileras del cultivo de manera perpendicular a la dirección de la pendiente. Cabe resaltar que la atención prestada a este problema a nivel de productor y de políticas públicas es mínima. El enfoque de cuenca hidrográfica resulta útil para definir la vulnerabilidad, mejorar la comprensión del impacto erosivo y planificar formas de enfrentar el problema.

7.5. Erosión en la región Amazónica

La Amazonía ecuatoriana está ubicada en el extremo oeste de la gran llanura amazónica que limita con la cordillera de los Andes (**Figura 7.57**). La región fue definida por las transformaciones de las estructuras geológicas y los cambios climáticos sufridos a través del tiempo. Ambos procesos lograron consolidar una amplia zona de abundantes precipitaciones y relieves variados que promovieron el desarrollo de suelos diversos que soportan poblaciones de flora y fauna de gran diversidad y riqueza (Winckell, *et al.*, 1997).



Figura 7.57. Ubicación del Oriente ecuatoriano con respecto a la Cuenca Amazónica.

Antes de la década de 1980 existían muy pocos rastros de erosión en la Amazonía ecuatoriana y los sitios con evidente degradación se ubicaban en las viejas zonas de colonización como Zamora, Puyo, Tena y Baeza (Custode y Viennot, 1986), pero la colonización promovida por el estado incrementó el asentamiento de campesinos sin tierra que siguieron a la apertura de las vías de penetración para extracción y transporte de crudo, madera y metales, ampliando significativamente la frontera agrícola con actividades de agricultura, ganadería y la combinación de agricultura y ganadería. Estas nuevas formas de uso del suelo fueron precedidas por procesos de intensa deforestación que eliminaron la cobertura y dejaron la superficie del suelo expuesta a procesos erosivos provocados por el agua y el viento (Mena, 2010; CEPAL y Patrimonio Natural, 2013; Sánchez, 2015). Según el censo del año 2000, en la región existían 108 707 unidades productivas agropecuarias (UPA) en una superficie de 988 229 hectáreas, de las cuales el 4 % correspondía a UPAs con una superficie > 100 hectáreas, el 11 % UPAs entre 50 y 100 hectáreas, el 54 % a

UPAs entre 10 y 50 hectáreas y el 31 % UPAs < 10 hectáreas (Nieto y Caicedo, 2012; López, *et al.*, 2019). La susceptibilidad a la erosión de los suelos de la Amazonía depende también de su localización en la región. Relieves subandinos, que comprenden los corredores, cordilleras y contrafuertes de la cordillera montañosos o submontañosos, ubicados escalonadamente entre 2 500 y 600 m s. n. m., tienen relieves muy inclinados y son muy susceptibles a la erosión cuando desaparece la cobertura (**Figura 7.58**). Sin embargo, los suelos de la Amazonía Periandina, que se encuentran debajo de los 600 m s. n. m. (el área más extensa de la región Amazónica ecuatoriana), no deben tener uso agropecuario porque son muy susceptibles a la erosión cuando pierden la cobertura y se usa para cultivar pastos y cultivos de ciclo corto (Custode y Sourdat, 1986; Custode y Viennot, 1986).

Los suelos de la Amazonía Periandina son muy frágiles y se degradan fácilmente, en muchos casos de forma irreversible, cuando la cobertura de bosque es reemplazada por pastos. Si bien el suelo recibe una nueva cobertura permanente, el pisoteo de los animales promovido por la descontrolada actividad ganadera incrementa la densidad aparente y reduce la porosidad hasta que el suelo se compacta lo que limita el crecimiento de las raíces y reduce el crecimiento de los pastos (Bravo, *et al.*, 2016; Calero y Vizuite, 2018). Este deterioro se hizo evidente al evaluar la capacidad de carga animal a mediados de la década de 1990 encontrándose que ésta se reducía de 1.4 a 0.5 unidades bovinas ha⁻¹ en un periodo de 5 a 10 años (Burgos, 1997).

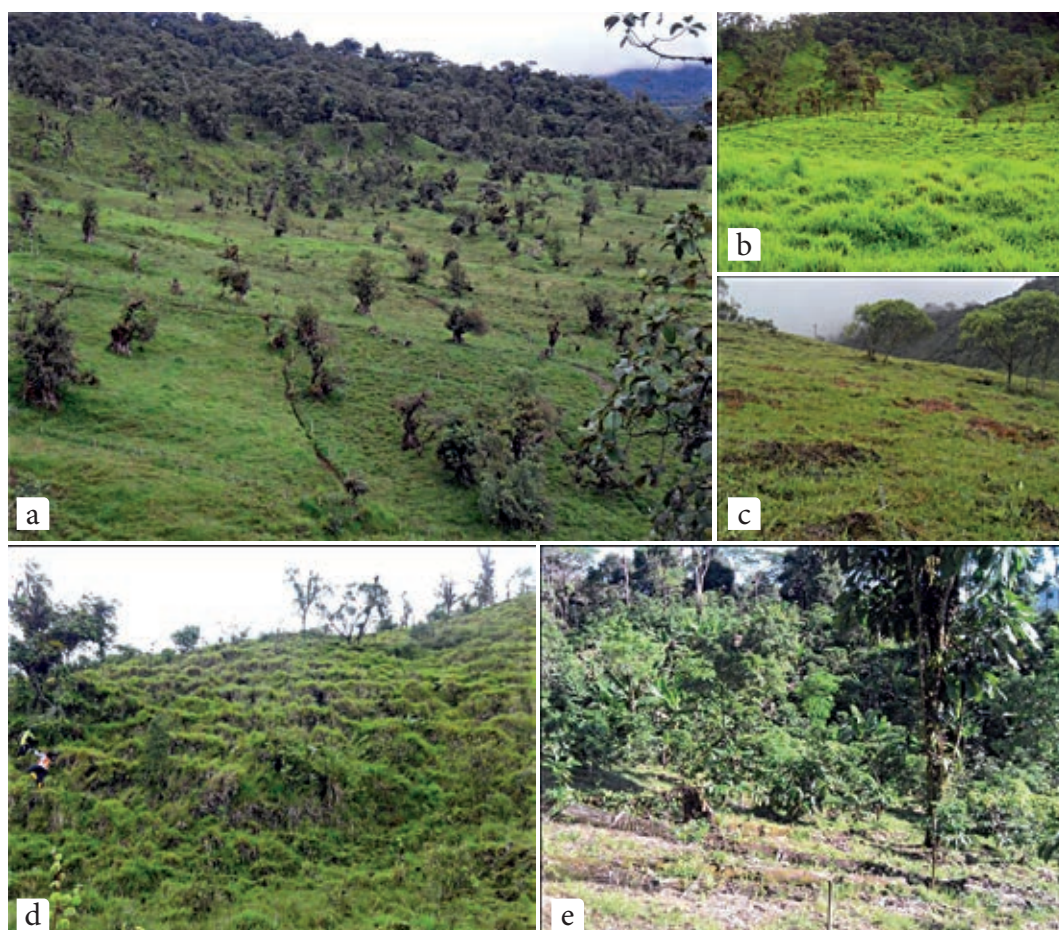


Figura 7.58. Erosión en los Relieves Subandinos (Cordillera de Napo), con suelos provenientes de ceniza volcánica: **a)** deforestación; **b)** establecimiento de pasturas (saboya); **c)** degradación de potreros con pasturas de bajo valor nutritivo (gramas); **d)** erosión por pisoteo del ganado; **e)** erosión hídrica en establecimiento de cultivos permanentes posterior a la tumba del bosque natural (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015d, 2016b, 2016c, 2016a).

La fertilidad de los suelos ácidos sujetos a altas precipitaciones de la Amazonía Periandina que soporta la exuberante selva amazónica se basa en el perfecto reciclamiento de los nutrientes que provienen de los residuos de las hojas de los árboles que se acumulan en la superficie y de la biomasa de las raíces muertas. La descomposición de estos residuos es una constante fuente de nutrientes para la vegetación que, además, acumula materia orgánica en el horizonte superficial del perfil que tiene alrededor de 10-12 cm de profundidad. El carbono orgánico de esta capa superficial se oxida fácilmente cuando estos suelos se utilizan con agricultura intensiva, particularmente si se mueve el suelo para labores de siembra, afectando radicalmente la dinámica de los microorganismos y el reciclamiento de nutrientes y perturbando la estructura del suelo por cambio en densidad aparente y porosidad. El suelo se degrada rápidamente porque perdió el equilibrio provisto por la dinámica natural del bosque, los cultivos producen cada vez menos y, finalmente, el suelo se degrada completamente por la erosión provocada por la escorrentía sobre el suelo sellado y compactado (**Figura 7.59**).



Figura 7.59. Izquierda, deforestación en preparación para la siembra de maíz en suelos rojos ácidos (Oxic Dystrudepts) en Loreto, Orellana; derecha, el mismo tipo de suelo degradado por erosión al perder la cobertura.

Una vez que el hecho de la eliminación del bosque se ha consolidado, el uso productivo de estos suelos debe encaminarse hacia el manejo con agroforestería en sus diversas manifestaciones. Los sistemas agroforestales generan también abundantes residuos que mantienen la fertilidad del suelo mediante el reciclamiento de nutrientes y la estabilización de la temperatura del suelo lo que reduce la volatilización de nitrógeno. Además, las condiciones provistas por la cobertura superficial mantienen la estructura del suelo y controlan la erosión (Paredes, *et al.*, 2018).

7.5.1. Principales procesos erosivos de la Amazonía ecuatoriana

El único esfuerzo para definir las diferentes formas en las que se presentan los procesos erosivos en la Amazonia ecuatoriana y cuantificar las áreas afectadas en ese momento fue conducido por Almeida, *et al.* (1984) y se resumió en el mapa de la **Figura 7.60**, pero las fotografías que acompañan la descripción del mapa fueron obtenidas por el proyecto “Levantamiento de Cartografía Temática, escala 1: 25 000”, coordinado por MAGAP-SIGTIERRAS (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015a).

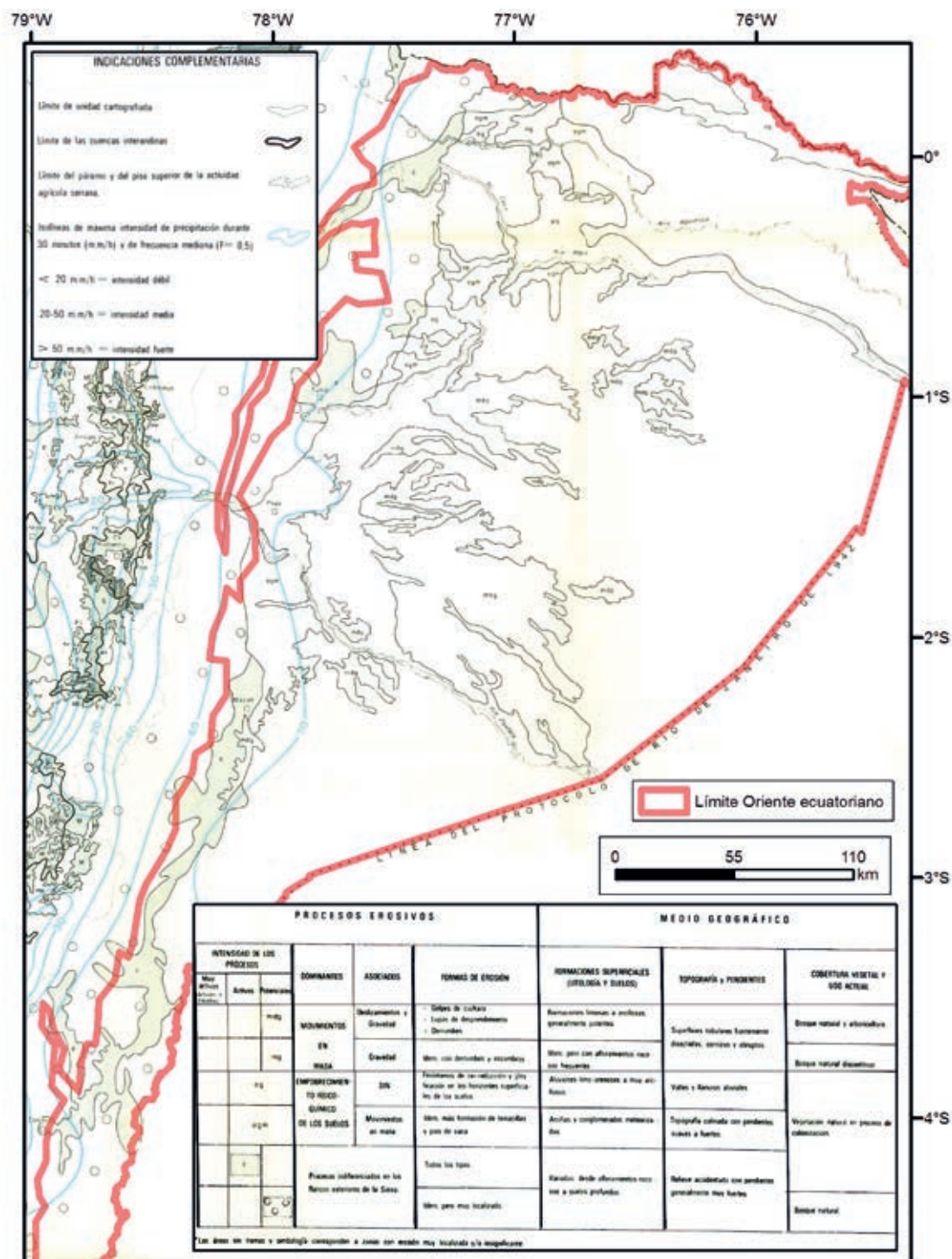


Figura 7.60. Procesos erosivos de la Amazonía ecuatoriana (Adaptado de Almeida *et al.*, 1984).

7.5.1.1. Asociación movimientos en masa, deslizamientos y gravedad potenciales

Este tipo de procesos erosivos se presenta en las áreas identificadas con las letras **mgd** en la **Figura 7.60** y corresponden a zonas de humedad constante donde se presentan los fenómenos típicos de movimientos en masa superficiales y profundos (golpes de cuchara, roturas de desgarramiento, lupas de solifluxión) (**Figura 7.61**). Debido a las pendientes más fuertes, estos procesos se asocian con los movimientos de gravedad (derrumbes, deslizamientos en planchas, etc.) que se inician en el sitio de contacto entre la roca

madre y la capa superior de suelo alterado. El peligro es potencial cuando existe una buena protección del suelo proporcionada por una cobertura vegetal forestal y las únicas áreas afectadas son aquellas con pastizales y cultivos. Este tipo de proceso erosivo se localiza, principalmente, en las mesetas del piedemonte central, donde la zona más vulnerable es el gran relieve tabular de la provincia de Pastaza, que se abre en abanico hacia el este desde el Puyo y está localizado entre los 250 y 300 m s. n. m. La cornisa que bordea estas mesetas y los lugares de su superficie más disectados y menos protegidos por la vegetación son más sensibles a los movimientos en masa por deslizamientos y gravedad. La superficie total de la Amazonía que es de 95 672 km² y Almeida, *et al.* (1984) determinaron que, en ese tiempo, las áreas afectadas por este proceso erosivo eran de aproximadamente el 10 % de esa superficie total.



Figura 7.61. Proceso de erosión de movimiento en masa ubicado en las mesetas del piedemonte central (Amazonía Periandina) (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2016c).

7.5.1.2. Empobrecimiento físico-químico y en asociación con movimientos en masa

Las zonas con empobrecimiento físico-químico del suelo se identifican con las letras **og** en la **Figura 7.60** y las que están en asociación con movimientos en masa se describen con las letras **omg**. Las zonas con empobrecimiento físico-químico se localizan a lo largo del eje Puyo-Baeza-Lago Agrio-Coca y se caracterizan por un empobrecimiento de los suelos arcillosos debido a los fenómenos de oxi-reducción en los primeros centímetros del perfil. El pisoteo del ganado, que deja huellas del tamaño de sus cascos, compacta el suelo y limita la circulación del agua generando condiciones anaeróbicas en el perfil que son perjudiciales para el crecimiento de las plantas (**Figura 7.62**). Este tipo de proceso de degradación domina en las superficies planas de las llanuras y terrazas del piedemonte alejado y en los paisajes fluviales.



Figura 7.62. Izquierda, perfil de suelo ubicado en la Amazonía Periandina que muestra áreas de color plomo como indicador del empobrecimiento físico-químico debido a la reducción del Fe por saturación con agua. Derecha, llanura aluvial característica del sitio (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015c).

En las colinas, cuyas pendientes pueden llegar al 40 %, el empobrecimiento físico-químico se asocia a los movimientos en masa (**ogm**) en forma de terracillas que pueden generar deslizamientos (**Figura 7.63**). Este tipo de erosión se localiza en las colinas bajas orientales, en las colinas occidentales, en las gradas medias y disectadas en el piedemonte alejado y en los piedemontes próximos con cobertura de ceniza volcánica. Almeida, *et al.* (1984) determinaron que las áreas afectadas con estos procesos erosivos en ese tiempo eran de aproximadamente el 11 % de la superficie total (**og** 5 % y **ogm** 6 %).



Figura 7.63. Sitio localizado en las colinas bajas orientales donde los movimientos en masa en forma de terracillas pueden, localmente, generar deslizamientos de masas de suelos (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015b).

7.5.1.3. *Procesos indiferenciados activos*

Estos procesos erosivos, representados por la letra **c** en la **Figura 7.60**, ocurren en los corredores y depresiones de los relieves subandinos donde se realiza actividad agrícola. Se trata de áreas de producción localizadas en ambos lados de los ejes de comunicación cultivadas con pastizales, cultivos de subsistencia y bosques con arboricultura bajo sombra. En las pendientes más fuertes se producen movimientos en masa, escurrimiento difuso-concentrado y movimientos de gravedad. Representaban el 7 % del área total de la Amazonía ecuatoriana.

7.5.1.4. *Procesos indiferenciados potenciales*

Estos procesos se representan con el símbolo **O** en la **Figura 7.60** y corresponden a potenciales procesos erosivos que podrían presentarse al norte en los flancos de la cordillera del Napo (zona con cobertura de cenizas volcánicas) y al sur en Santiago. En estas zonas se debe mantener el medio natural forestal y no se debería conducir actividad agrícola. Los relieves son muy fuertes que generalmente tienen pendientes abruptas de 70 a 100 %. Es un medio natural frágil en equilibrio, pero el desmonte y las fuertes precipitaciones provocarían procesos erosivos catastróficos como el deslizamiento de tierra sobre las vertientes inestables. En 1984 representaban el 9 % del área total del Oriente ecuatoriano.

7.6. Consecuencias de la erosión

La principal consecuencia de la erosión en los campos es la pérdida de suelo productivo. La erosión arrastra las capas superficiales del perfil del suelo que son las que tienen mayor contenido de materia orgánica y nutrientes. Las nuevas capas de suelo expuestas a la superficie tienen baja fertilidad, malas condiciones físicas y poca actividad microbiana. En consecuencia, los cultivos sembrados en suelos erosionados tienen poco vigor y baja productividad. A medida que avanza la erosión y se pierde más suelo, la situación se hace más precaria hasta que finalmente aflora el subsuelo, dejando una matriz completamente improductiva. Estas condiciones, comunes en extensas áreas de la Sierra y Costa ecuatorianas, solo traen pobreza y finalmente promueven el abandono del campo y la migración a las ciudades (Vanacker *et al.* 2003).

En el pasado, el problema de erosión se minimizaba porque los suelos eran profundos y las zanjales y cárcavas provocadas por la erosión eran cubiertas con un pase de tractor o bueyes dejando la sensación de que nada había ocurrido. Esto simplemente continuaba reduciendo la profundidad de las capas superficiales de suelo fértil hasta que aparecía el subsuelo. Este ha sido un proceso de muchos años que ha degradado completamente los suelos en extensas áreas del país, particularmente en la Sierra. Los suelos erosionados producen cultivos menos vigorosos que no cubren completamente el suelo y dejan menor cantidad de residuos en el campo que, junto con el movimiento constante del suelo con el arado, promueven la paulatina pérdida de materia orgánica y nutrientes esenciales del campo. Esta situación la sienten los agricultores y es común el comentario de que la parcela antes producía más y mejores cosechas.

La pérdida del suelo por erosión causa problemas irreparables en los sitios donde ocurre, pero, además, las partículas de suelo que abandonan las áreas agrícolas son transportadas en forma de sedimentos a lugares aledaños donde se acumulan en las zonas bajas, afectando en su paso obras de infraestructura, caminos y reservorios. Periódicamente se reportan problemas de esta naturaleza durante la época lluviosa en diversos sitios de la Sierra, Costa y Oriente de Ecuador. La habilitación de la infraestructura afectada es una situación molesta y de alto costo que deben enfrentar los gobiernos seccionales.

Los sedimentos también se acumulan en sitios lejanos de la fuente en ríos, reservorios grandes y represas. Las represas de generación de electricidad pierden capacidad operacional por la acumulación de sedimentos. Estos sedimentos salieron de lotes de agricultores que no manejaron el suelo con cuidado, en muchos casos, muy lejos de la zona de acumulación. Fue notorio el problema de la represa del Paute que estuvo a punto de llenarse con sedimentos y dejar de producir electricidad (Harden, 1993; Donoso, 2009). Lo mismo podría ocurrir con las nuevas represas en operación.

Los nutrientes y materia orgánica arrastrados por los sedimentos producen efectos secundarios en las zonas de acumulación. Los sedimentos cargados de nutrientes que se depositan en los cuerpos de agua (ríos, lagos y represas) promueven el abundante crecimiento de algas y otras plantas acuáticas. Los nutrientes, que en las parcelas aguas arriba permitían el crecimiento vigoroso de cultivos, ahora promueven el crecimiento activo de estas plantas acuáticas. Esta acumulación de material vegetal en los cuerpos de agua dificulta la navegación y causa la muerte de peces por el proceso de eutroficación. Además, los grandes volúmenes de material vegetal acumulado obstruyen las obras de infraestructura como represas y proyectos de riego. La limpieza del material acumulado es muy costosa y difícil.

7.7. Control de la erosión

La discusión previa ha demostrado claramente que la erosión es la principal amenaza para las funciones del suelo en todas las regiones de Ecuador y que es imperativo el control de los procesos erosivos a nivel nacional. Se considera que un tasa tolerable de pérdida por erosión es aquella que mantiene los servicios ambientales del suelo sin degradarlo (Pennock, 2019). Por esta razón, las medidas de conservación de suelos para mantener las funciones ambientales del suelo y lograr la producción sostenible de alimentos deben enfocarse en prevenir y reducir la degradación de la tierra mediante el complemento de tecnologías agronómicas, vegetativas y estructurales dentro de sistemas de gobernanza conducentes al trabajo cooperativo (WOCAT, 2020).

Desde el punto de vista operativo a nivel de finca o cuenca hidrográfica existen diversas prácticas de conservación para controlar la erosión y preservar el suelo. El control de la escorrentía superficial se logra mediante prácticas mecánicas y el mantenimiento de la cobertura del suelo se logra con prácticas agronómicas. Estos métodos para controlar la erosión no son desconocidos ni complicados de adoptar, sin embargo, muchos productores los ven como una molestia porque obligan a manejar los lotes en forma diferente a la tradicional, que aparentemente es más rápida y simple. Entre las principales medidas mecánicas de control de erosión se encuentran los caminos de agua, bordes de campo, zanjas de desviación y terrazas de formación lenta, mientras que entre las principales prácticas agronómicas están la siembra en curvas de nivel, la labranza de conservación o siembra directa y la rotación de cultivos (Tayupanta y Córdova, 1990; Raudes and Sagastume, 2009; Pennock, 2019).

Las actividades de conservación de suelos más exitosas de Ecuador se desarrollaron con el respaldo de CARE-Internacional que apoyó técnica y financieramente el proyecto denominado “Manejo del Uso Sostenible de Tierras Andinas (PROMUSTA)” en varias localidades de la Sierra. Una de estas localidades, y quizá la más notable, estuvo asentada en la parroquia Pilahuín, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Las primeras inquietudes para controlar la erosión en la cuenca alta del río Pastaza, provincia de Tungurahua, fueron generadas por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) a inicios de la década de 1990 con el objetivo de preservar la represa hidroeléctrica Agoyán. Los primeros contactos con comunidades de la Parroquia Pilahuín fueron realizados por técnicos del Proyecto PROMUSTA (CARE-MAG), quienes concretaron las acciones para la ejecución del proyecto denominado “Uso Sostenible del Suelo en los Páramos de la Cuenca Alta del Río Pastaza” que finalmente fue conducido en el campo por la Fundación Pastaza, un consorcio interinstitucional en el que participaban algunas instituciones interesadas en la conservación de los recursos naturales de la Cuenca Alta del Río Pastaza como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Consejo Provincial de Tungurahua, INECEL, la Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA) y la Fundación para la Conservación de los Páramos del Ecuador.

Dos organizaciones de productores de la parroquia de Pilahuín se comprometieron a trabajar en el proyecto: la Comunidad de Chiquicahua de 123 familias y la comunidad de Tamboloma a 250 familias. El proyecto inició sus labores de campo en 1997 con el objetivo de fomentar la autogestión del campesino minifundista a través de la adopción y adaptación de prácticas del uso sostenible de la tierra que contribuyan a controlar la degradación del suelo y a mejorar el nivel de vida de los productores en el corto y largo plazo. La estrategia utilizada para la implementación del proyecto se basaba en la formación de grupos de

técnicos extensionistas y promotores campesinos. Los grupos de extensionistas, compuestos por un técnico agrícola, un pecuario, un forestal y un social, trabajaron con los agricultores según el piso altitudinal en el cual se encontraban ubicados. Por otro lado, dentro de cada comunidad se identificaron y capacitaron a promotores campesinos, quienes eran agricultores de la zona que utilizaron sus propias tierras para implementar las tecnologías propuestas. Estas parcelas demostrativas fueron enseñando a la comunidad los beneficios del nuevo manejo de las parcelas y poco a poco fue creciendo el área con manejo diferente hasta levantar un imponente proyecto conservacionista nunca visto en Ecuador y que transformó las pendientes pronunciadas de Pilahuín en un jardín (**Figura 7.64**).

El proyecto puso énfasis en la difusión de dos tipos de tecnologías (Winters, *et al.*, 1998). El primer grupo de tecnologías buscaba la conservación de recursos naturales a través de: a) control de la erosión hídrica mediante zanjas de desviación, hileras en contorno, curvas de nivel, terrazas de formación lenta, terrazas de banco y b) mejoramiento del manejo del agua a través de la construcción de reservorios y canales de riego. El segundo grupo de tecnologías proponía la intensificación y diversificación de la producción agrícola con las siguientes actividades: a) construcción de barreras vivas, agroforestería (viveros, plantación de árboles), b) mejoramiento de la fertilidad de suelo (lombricultura, fertilización mineral y orgánica), c) diversificación agrícola (huertos familiares, siembra de hortalizas, siembra de frutales, producción de frutales y hortalizas en invernaderos), d) mejoramiento agrícola (nuevas rotaciones, nuevas asociaciones, mejoramiento del manejo de cultivos y e) mejoramiento de manejo de los animales menores (manejo de especies menores: cuyes, conejos, piscicultura).

Según Winters, *et al.* (1998), las razones para el éxito del proyecto PROMUSTA en las diferentes áreas del país en las que se implementó, y particularmente ciertas en el proyecto de Pilahuín fueron: a) oferta de una variedad de innovaciones tecnológicas, lo que permite que el agricultor escoja según sus necesidades particulares y b) utilización de prácticas de conservación de suelos que, junto con cambios en las prácticas de manejo de los cultivos, se ajustaron a las necesidades de producción de los agricultores. Los autores concluyen indicando que el manejo conservacionista de recursos es sostenible cuando se lo plantea como un sistema integrado de recursos. Aun cuando el proyecto entregó incentivos para la adopción de las prácticas conservacionistas (semillas, plantas y algunos insumos para la producción) no se hicieron pagos directos para incentivar la participación en el proyecto. Indudablemente, para que un proyecto de esta naturaleza funcione es necesario que exista un sistema de extensión agrícola que tenga técnicos comprometidos y bien entrenados y que, además, tenga la información del potencial agrícola de la zona de intervención, así como el potencial y limitaciones de los grupos familiares de agricultores incluidos en el proyecto.

En la evaluación del proyecto PROMUSTA, Winters, *et al.* (1998) indicaron también que existe el potencial de que el proyecto reduzca sus actividades o se detenga una vez que las instituciones que promovieron las actividades salgan de las comunidades, situación que ha ocurrido con varios proyectos de diferente naturaleza en el pasado. Efectivamente, el proyecto de conservación de Pilahuín dejó de recibir el apoyo de la Fundación Pastaza en el año 2002 y la actividad conservacionista fue paulatinamente olvidada y se ha llegado hasta extremos donde los agricultores han destruido las obras de conservación como terrazas y otras prácticas físicas de conservación por su percepción de que las mismas reducen la superficie cultivable. La erosión en el área donde estuvo ubicado el proyecto es ahora evidente (**Figura 7.64**).



Figura 7.64. Manejo conservacionista para control de erosión en lotes de pequeños productores en Pilahuín, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Izquierda: proyecto “Uso Sostenible del Suelo en los Páramos de la Cuenca Alta del Río Pastaza” en su apogeo en el año 1999 donde se observan las prácticas de conservación de suelo en el campo cruzando con las mismas prácticas varios lotes de los productores participantes. Derecha: misma área del proyecto de conservación en el año 2016, donde los productores han eliminado gran parte de las prácticas de control de erosión y ahora se observa afloramiento de cangahua.

7.7.1. Siembra directa

Una de las prácticas agronómicas que más contribuye al control de la erosión y al mejoramiento de la calidad del suelo es la labranza de conservación, cero labranza o siembra directa (SD). La labranza convencional (LC) comúnmente practicada por grandes y pequeños productores en Ecuador remueve el suelo para eliminar las malezas y preparar los surcos de siembra. Esta forma de manejo causa cambios profundos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que finalmente afectan el rendimiento de los cultivos y en la calidad del ambiente. El exceso de movimiento del suelo afecta el crecimiento del cultivo debido a que se reduce la disponibilidad y el transporte del agua, aire y nutrientes. Adicionalmente, el constante movimiento del suelo incrementa el riesgo de erosión y oxida la materia orgánica lo que promueve la pérdida de carbono orgánico (CO) del suelo, condiciones que reducen la resiliencia del suelo al estrés (Álvarez y Barraco, 2005; Wingeyer, *et al.*, 2015; Lal, 2017). Son varios los argumentos para mantener la práctica de remoción del suelo, se arguye que la remoción del suelo es necesaria para controlar las malezas, permitir una mejor aireación del suelo, evitar la compactación y desarrollar un medio adecuado para el desarrollo de las raíces, sin embargo, la realidad demuestra que, en la mayoría de los casos, la labranza solamente promueve efectos contrarios a los buscados con la utilización de esta práctica agrícola (**Figura 7.65**).

Los evidentes problemas de degradación causados por la LC han posibilitado el desarrollo de propuestas de manejo alternativo del suelo como la SD, técnica diseñada para evitar la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica y para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Crovetto, 2006; Baker and Saxton, 2008; Derpsch, *et al.*, 2010). El Centro de Información sobre Tecnología de Conservación (CTIC, por sus siglas en inglés) define a la SD como el sistema de preparación del suelo para la siembra en el que la remoción del suelo para la colocación de las semillas es mínima y las malezas se controlan utilizando herbicidas, de esta forma, el suelo no se mueve en ciclos consecutivos de siembra y cosecha (Towery and Werblow, 2010). El concepto de manejo del suelo por SD se apoya en cuatro pilares que son: a) eliminación del uso de arado y rastra; b) cobertura permanente del suelo; c) rotación de cultivos y; d) manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas (Derpsch, 1998; Fawcett and Towery, 2003; Dumanski, *et al.*, 2006; Gattinger, *et al.*, 2011). Se considera que los agricultores que manejan adecuadamente el sistema obtienen rendimientos satisfactorios a menor costo y de paso logran el invalorable beneficio de mejorar las propiedades del suelo.

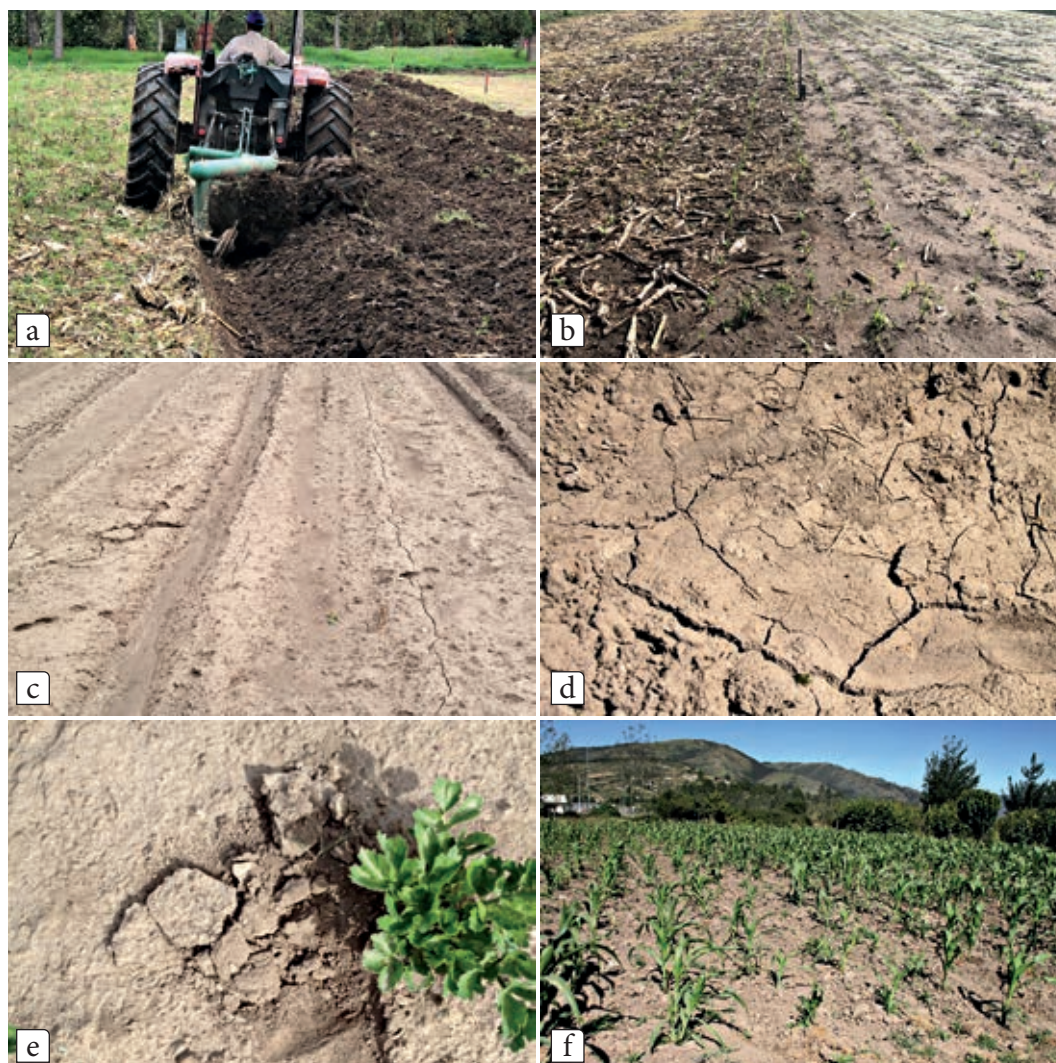


Figura 7.65. Efectos de la remoción del suelo por labranza en lotes de investigación del Centro Académico y Experimental La Tola (CADET-FCAg-UCE), Tumbaco, Quito, Pichincha: **a)** lote de suelo volcánico no utilizado por varios años en el que se inicia la labranza; **b)** escorrentía superficial y erosión en el mismo lote (derecha) comparado con el lote con cobertura por siembra directa en el lote adyacente (izquierda); **c)** lote cercano al anterior que ha sido sometido a labranza convencional por varios años donde son evidentes los efectos adversos de la remoción constante de suelo; **d)** vista cercana del sellamiento superficial del suelo que inhibe la infiltración; **e)** formación de costras superficiales que deben quebrarse para sembrar nuevamente; **g)** pobre crecimiento del cultivo como resultado de la acumulación de efectos negativos de la labranza en las propiedades del suelo.

7.7.1.1. Desarrollo de la siembra directa

Los primeros proyectos de investigación desarrollados para evaluar la posibilidad de prescindir de la labranza tuvieron lugar en Inglaterra en la década de 1940. Para el año 1955, el descubrimiento del herbicida Gramoxone (Paraquat) alentó a la compañía británica Imperial Chemical Industry (ICI) a continuar con la investigación sobre la tecnología de siembra directa (SD) en el Reino Unido. También se desarrollaron estudios iniciales en Suiza y Escandinavia (Islam and Reeder, 2014; Kertész and Madarász, 2014). Sin embargo, la técnica de SD realmente se desarrolló y tomó impulso en Estados Unidos durante la década de 1960 en los estados de Kentucky y Ohio, dentro del marco de lo que empezó a conocerse como agricultura de conservación. La idea de que las semillas podrían plantarse directamente en los residuos de la cosecha anterior generó una corriente de conservación de suelos en los Estados Unidos que culminó en el desarrollo de prácticas de SD que se aplican hoy en día a nivel mundial (Islam and Reeder, 2014). Para el

año 2019 la superficie bajo siembra directa en los Estados Unidos y Canadá fue de 71.5 y 12.5 millones de hectáreas, respectivamente, principalmente con cultivos como maíz, soya, alfalfa, algodón y canola.

Las primeras experiencias en Argentina se registran en la segunda mitad de la década de 1970. Sin embargo, la adopción del sistema tardó 15 años hasta que el precio de los herbicidas se redujo lo suficiente para lograr un control de malezas más efectivo, situación que permitió que la SD sea económicamente viable. El proceso se intensificó durante la década de 1980 y actualmente la SD en cultivos extensivos ha remplazado al modelo de LC (Perrachón, 2004; Alapin, 2008; INTA, 2011). Esta tecnología ha ido evolucionando hacia un enfoque en sistemas de producción que concilia la productividad con el ambiente, proponiendo una producción económicamente rentable, ambientalmente sustentable y socialmente aceptada por las empresas agropecuarias (Dantur, 2011; INTA, 2011; Friedrich, *et al.*, 2017). En el año 2019 el área cubierta con SD en Argentina fue de 24 millones de hectáreas, principalmente con maíz, soya, algodón y alfalfa.

La agricultura en el sur de Brasil se intensificó a fines de década de 1960 con la inclusión del cultivo de la soya en los sistemas de producción. Esta situación creó serios problemas de erosión y la recomendación de las instituciones públicas de investigación y extensión fue sustituir la agricultura por ganadería. Para evitar las serias pérdidas económicas que este cambio hubiese causado, algunos productores empezaron a experimentar con la labranza reducida y otras prácticas culturales. A mediados de la década de 1970 se desarrolló un paquete de SD adaptado a las condiciones locales y una cantidad limitada de productores lo probaron, pero la mayoría lo abandonó porque el control de malezas era difícil y las sembradoras ineficientes. La introducción del glifosato y la investigación realizada por varias instituciones (públicas, privadas, organizaciones de productores y fabricantes de maquinaria) produjeron un paquete eficiente a fines de esta década. La caída del precio del glifosato en la década del 1980 aumentó la rentabilidad de esta tecnología con respecto a la labranza convencional y favoreció su difusión (Landers, 2004). Cuatro décadas después de su introducción en territorio brasileño, el sistema de SD se ha consolidado como una tecnología conservacionista de gran aceptación por parte de los agricultores que se ha adaptado a diferentes regiones y a diferentes niveles tecnológicos desde el grande hasta el pequeño agricultor que usa la tracción animal (Wingeyer, *et al.*, 2015; Friedrich, *et al.*, 2017). Brasil utilizó 52.8 millones de hectáreas para producir soya, maíz, algodón y caña de azúcar en SD en el año 2019.

Esta forma de producción se ha expandido a otros países como Paraguay, Bolivia y Uruguay en América del Sur, donde también se practica en grandes extensiones de tierra (Derpsch, *et al.*, 2010; Wingeyer, *et al.*, 2015). La adopción de SD en países como Chile, Venezuela, Colombia y México ha sido más bien modesta en comparación con Argentina y Brasil (Derpsch, *et al.*, 2010).

Por otro lado, los esfuerzos para adaptar la SD en la agricultura de pequeños productores en las tierras altas de los Andes de América Central y América del Sur han sido menos exitosos y han encontrado problemas sociales y económicos que no han facilitado su adopción (Lal, 2006; Zamudio y León, 2008). Una de las principales razones por la que los pequeños productores utilizan LC es la de controlar malezas. Cuando se elimina la remoción del suelo utilizando SD el control de malezas (principalmente las malezas de hoja ancha) se vuelve muy importante. En los primeros años el control de malezas puede volverse difícil y costoso, pero con el transcurso del tiempo y con buen manejo la población de malezas se reduce gradualmente debido a que la ausencia de labranza no incorpora nuevas semillas o expone a la superficie semillas dormantes y la acumulación de residuos sobre la superficie controla la germinación y crecimiento de las malezas. El control inicial de malezas debe hacerse con herbicidas, particularmente glifosato, para lograr completo control de cobertura. Éste es quizá el factor que más limita la adopción de la SD por pequeños productores, junto con la utilización de animales o herramientas manuales para la siembra y fertilización de los cultivos (Wall, 1995; Ekboir, 2002; Derpsch, 2008).

Los primeros trabajos de investigación con SD en Ecuador se condujeron en el litoral ecuatoriano desde 1985 hasta 1990 en la Estación Experimental Pichilingue de INIAP. Las experiencias recopiladas sobre este sistema de siembra demostraron que puede ayudar a mantener la capacidad productiva del suelo y por

ende a solucionar o evitar los problemas causados por erosión hídrica en la época lluviosa, optimizando a la vez el uso de la humedad residual del suelo para los cultivos en la época seca (INIAP, 1990). Sin embargo, estos estudios no reportan los efectos de la adopción de SD en las propiedades del suelo. Estudios recientes conducidos por Acosta and Galárraga (2011) con maíz sembrado en dos ciclos consecutivos con SD en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas encontraron un ligero incremento en el contenido de MO, pero ningún cambio en las propiedades químicas del suelo. No se midieron los cambios que el sistema pudo haber producido en las propiedades físicas del suelo.

Se han desarrollado esfuerzos por evaluar los efectos de la SD en áreas de suelos localizadas en zonas de producción de pequeños productores en la Sierra Norte de Ecuador. Experimentos conducidos por INIAP en las provincias de Bolívar y Pichincha demostraron que es posible lograr rendimientos aceptables de maíz de polinización abierta (5.2 y 7.4 t ha⁻¹, respectivamente) cultivado bajo SD en lotes representativos de las condiciones de la producción en pequeños lotes de la Sierra (Alvarado, *et al.*, 2011). Por otro lado, Arévalo (2013) también condujo investigación con maíz duro en condiciones de agricultura de ladera en la cuenca del río Alumbre, en la provincia de Bolívar, encontrando que los rendimientos de LC y SD fueron similares y que no se evidenciaron cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo, probablemente debido al poco tiempo (dos ciclos) que el experimento estuvo en el campo. Por otro lado, los experimentos iniciados en el año 2015 por el grupo de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador (FCAg-UCE) reportaron ya cambios en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo luego de varios años de investigación continua (Toapanta, 2016; Ávila, 2019; Vasco, 2019; Serrano, 2020; Montesdeoca, 2021).

7.7.1.2. Cambios en el suelo inducidos por la siembra directa

El contenido de materia orgánica (MOS), que es el indicador más importante de la calidad del suelo, se define como la fracción orgánica que incluye los residuos vegetales y animales en descomposición, la biomasa microbiana y el humus, exceptuando los residuos vegetales y animales sin descomponer (Craswell and Lefroy, 2001; Ghisolfi, 2011). El contenido de MOS es importante porque está relacionado directa o indirectamente con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y cambia según el número de años de agricultura, tipo de cultivos, manejo de la labranza, rotaciones, manejo del cultivo, fertilización y los períodos de barbecho (Lal, 2011; Abdollahi and Munkholm, 2014).

La SD, la rotación de cultivos y el mantenimiento de adecuados niveles de fertilidad en el suelo permiten acumular y estabilizar los contenidos de MOS en el proceso denominado secuestro de carbono (INTA, 2011; Lal, 2011; Pittelkow, *et al.*, 2015). La descomposición de los residuos de los cultivos por acción microbiana produce una serie de reacciones de síntesis que llevan a la formación de compuestos estables de carbono en el suelo conocidos genéricamente con el nombre de humus. La mayoría de los compuestos orgánicos estables en el suelo corresponden a las sustancias húmicas (SH) las cuales son responsables del desarrollo del color, incremento de la agregación de las partículas, aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de la liberación de nitrógeno (N), fósforo (P) y otros nutrientes durante el proceso de mineralización. El humus está formado por SH complejas [ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas (HM)], compuestos que permanecen en el suelo como producto final de la descomposición de los residuos (Chen and Aviad, 1990; Baldock and Broos, 2012; Havlin, *et al.*, 2014).

Por otro lado, se argumenta que la acumulación de SH estables en el suelo por medio de prácticas agrícolas no es relevante y que los cambios del carbono orgánico del suelo (COS) son más relevantes cuando ocurren al inicio de la descomposición de los residuos orgánicos, periodo en el cual se liberan nutrientes y energía necesarios para el crecimiento de las plantas y para los procesos de estabilización del suelo (Lehmann and Kleber, 2015). Los mismos autores indican que muy pocos estudios han demostrado la relación entre la MOS y la productividad de los cultivos, sin embargo, muchos estudios han demostrado que la fracción química y biológicamente activa de la MOS tiene más relación con la productividad. Esta fracción, denominada materia orgánica particulada (MOP), está compuesta de las partículas de MOS de

tamaño en el rango 0.053 a 2 mm y que se pueden aislar y analizar fácilmente en el laboratorio. Se considera que la MOP es fuente de nutrientes para las plantas y alimento y energía para los microorganismos, pero es también la fracción MOS que incrementa la capacidad tampón y la CIC, atrapa los contaminantes como pesticidas y metales pesados e influencia la dinámica de las enfermedades en el suelo. En consecuencia, la acumulación de MOS al dejar de mover el suelo y al acumular residuos en la superficie es quizá el producto más importante de la adopción de SD.

La SD reduce radicalmente o elimina la remoción del suelo y acumula los residuos de los cultivos en la superficie lo que lleva a la estratificación de las propiedades del suelo. La estratificación es un proceso común y consiste en la distribución vertical del contenido de MOS, nutrientes y otras características en el perfil del suelo, generándose una acumulación en la capa superior de 0 a 5 cm y los contenidos se reducen gradualmente en la capas inferiores de 5 a 10 y de 10 a 20 cm, a diferencia de lo que ocurre con la distribución de nutrientes en LC que se estratifica muy poco o nada debido a que la labranza distribuye uniformemente las características de las propiedades del suelo en la a la profundidad de la capa afectada por la labranza, generalmente de 0 a 20 cm del perfil. Esta estratificación de las propiedades de suelo también promueve la distribución de las raíces de los cultivos siguiendo el mismo patrón de la distribución de MOS y nutrientes, es decir, la mayoría de las raíces activas del cultivo se localizan en las capas superiores de 0 a 10 cm de profundidad (Kay and VandenBygaart, 2002; Díaz-Zorita, *et al.*, 2004; Grove, *et al.*, 2007; Costantini, *et al.*, 2010; He, *et al.*, 2011; Abdollahi and Munkholm, 2014).

La investigación conducida por el grupo de suelos del CADET-FCAg-UCE en un Mollisol de origen volcánico (Entic Durustoll) localizado en Tumbaco, Quito, Pichincha, encontró la misma tendencia (**Cuadro 7.9**). Se observa el efecto del manejo del suelo con SD sobre el contenido de MOS y MOP luego de cuatro años de iniciado el experimento. Se considera que la MOP es un parámetro sensible para indicar el efecto del manejo agronómico y es el que provee más rápidamente información sobre el futuro contenido de MOS total, debido a que la MOP alcanza rápidamente un nuevo equilibrio luego de un episodio de manejo del suelo como la rotación de cultivos o las diferentes formas de labranza. Una reducción en el contenido de MOP se correlaciona con el declive en las características de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo lo que finalmente repercute en el rendimiento de los cultivos y en la calidad del suelo (Galantini, *et al.*, 2008; Videla, *et al.*, 2008; Ghisolfi, 2011; Lehmann and Kleber, 2015).

Cuadro 7.9. Efecto de la labranza sobre el contenido de materia orgánica y materia orgánica particulada en un Mollisol de origen volcánico (Entic Durustoll) a tres profundidades. Lote A2. CADET, Tumbaco, Quito, Pichincha. Adaptado de Ávila (2019) y Serrano (2020).

Año de evaluación	Labranza	Profundidad de muestreo (cm)		
		0-5	5-10	10-20
		Contenido de MOS (%)		
2017	SD	1.56	1.45	1.34
	LC	1.55	1.45	1.48
2019	SD	1.85 a*	1.36	1.20
	LC	1.25 b	1.24	1.22
		Contenido de MOP (% de la MOS)		
2019	SD	41 a	26	22
	LC	27 b	24	18

* Medias con diferente letra indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey 0.05).

El incremento en MOS logrado con la implementación de SD favorece notoriamente la estructura del suelo, característica que su vez se relaciona con el tamaño, forma, disposición y continuidad de los espacios porosos. La estructura es el resultado de la agregación de las partículas del suelo por medio de puentes iónicos y por la floculación y la cementación promovida por el carbono orgánico, la biota y las arcillas del suelo (Bronick and Lal, 2005). En consecuencia, el mayor contenido de MOS logrado con SD mejora la porosidad y estabilidad de los agregados lo que mejora la retención del agua por el suelo (Green, *et al.*, 2007; Ball, *et al.*, 2010; Abdollahi and Munkholm, 2014). La estabilidad de los agregados se utiliza como un indicador de la calidad del suelo (Six and Paustian, 2014). Los efectos de la SD en la capacidad de retención de humedad del suelo derivadas del mejoramiento de las propiedades físicas de un Mollisol de origen volcánico fueron documentados por Montesdeoca *et al.* (2020) y Montesdeoca (2021) (**Cuadro 7.10**). Se observa el efecto de la labranza en la mejor disponibilidad de agua luego de los tres ciclos de dos rotaciones de cultivos sembradas con SD.

Cuadro 7.10. Efecto de la labranza sobre la capacidad de almacenamiento de agua en un Mollisol de origen volcánico (Entic Durustoll) a dos profundidades. Lote A4. CADET, Tumbaco, Quito, Pichincha. Adaptado de Montesdeoca, *et al.* (2020) y Montesdeoca (2021).

Labranza	Rotaciones			
	Fréjol-maíz-fréjol		Fréjol-amaranto-frejol	
	Profundidad de muestreo (cm)			
	0-5	5-20	0-5	5-20
	Capacidad de almacenamiento de agua (%)			
SD	24.8 a *	23.7 a	22.0 a	22.3 a
LC	21.1 b	20.7 b	19.2 b	20.9 b

* Medias con diferente letra indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey 0.05).

Se ha demostrado que la SD también incrementa la presencia de microorganismos como bacterias y comunidades de hongos en el suelo, incluyendo las micorrizas arbusculares (MA) que al asociarse con las raíces de los cultivos regulan el comportamiento de la estructura del suelo (Borie, *et al.*, 2008; Dai, *et al.*, 2015). Uno de los productos del metabolismo de las MA es la glomalina, una glicoproteína que forma parte de la pared celular de las hifas del hongo. La glomalina se relaciona con las proteínas del suelo actuando como un adhesivo hidrofóbico de las partículas elementales (arena, limo y arcilla) ayudando a la formación de los agregados en el suelo (Driver, *et al.*, 2005). Por otro lado, la SD también beneficia a la población de macroorganismos benéficos, entre ellos las lombrices, organismos que con su actividad mejoran la estructura y permiten la formación de poros para facilitar la aireación e infiltración y, además, contribuyen a la estabilidad de los agregados (Domínguez, *et al.*, 2009). La presencia de lombrices es también considerada como un indicador de la calidad del suelo (Cabrera-Dávila, *et al.*, 2017). El efecto de la SD sobre la presencia de lombrices en suelo volcánico sembrado con dos rotaciones y en la acumulación de nódulos fijadores de N en las raíces de fréjol se presenta en el **Cuadro 7.11**. En la **Figura 7.66** se presentan ejemplos de cultivos bajo SD en el CADET-FCAG-UCE.

Cuadro 7.11. Efecto de la labranza sobre la presencia de lombrices y en la acumulación de nódulos en las raíces del fréjol en un Mollisol de origen volcánico (Entic Durustoll) en dos rotaciones de cultivos. Lote A4. CADET, Tumbaco, Quito, Pichincha. Adaptado de Montesdeoca (2021).

Labranza	Rotaciones			
	Fréjol-maíz-fréjol		Fréjol-amaranto-frejol	
	Profundidad de muestreo (cm)			
	0-5	5-20	0-5	5-20
	Biomasa de lombrices (g m ⁻²)*			
SD	54.0 a**	16.3 a	35.4 a	15.4 ns
LC	27.5 b	4.5 b	6.9 b	8.1 ns
	Población de lombrices (individuos m ⁻²)*			
SD	148 a	148 a	152 a	50 ns
LC	100 b	82 b	52 b	44 ns
	Rhizobium (nódulos planta ⁻¹)*			
SD	127 a		71 a	
LC	30 b		37 b	

* Muestreo al final de las rotaciones

** Medias con diferente letra indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey 0.05).

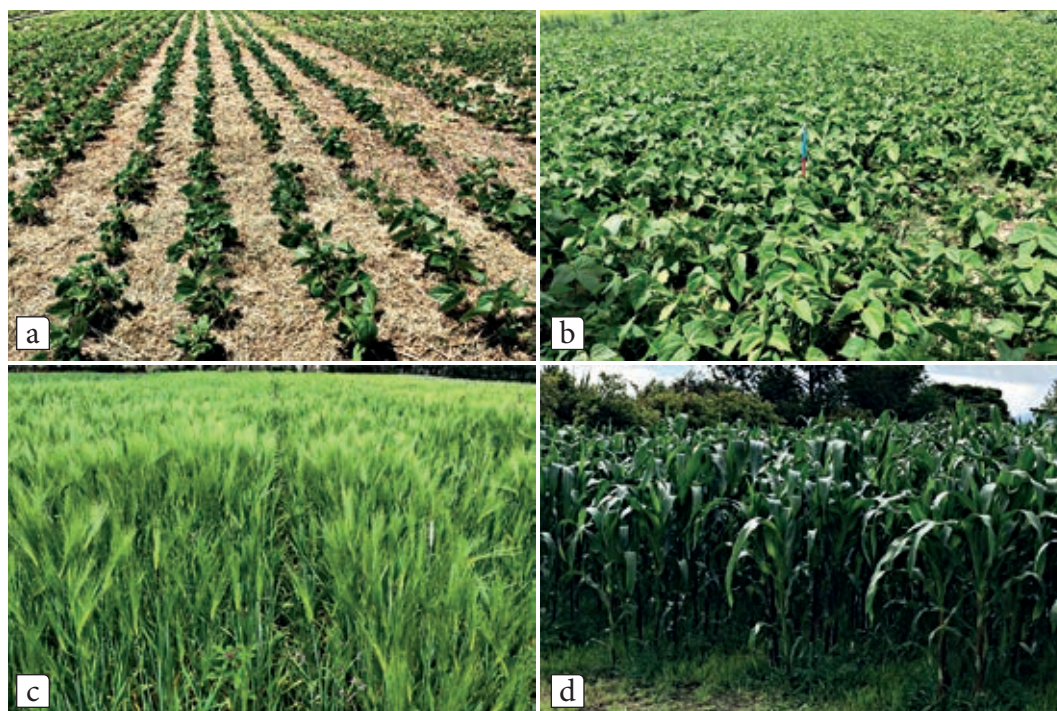


Figura 7.66. Siembra directa en varios cultivos. **a)** Rotación fréjol-amaranto-fréjol; **b)** Rotación fréjol-maíz; **c)** Rotación cebada-maíz-fréjol; **d)** Rotación maíz-fréjol. Fotos tomadas en los experimentos conducidos por el grupo de suelos en el CADET-FCAg-UCE.

7.8. Necesidad de un programa nacional de control de erosión

Ecuador necesita desarrollar en forma inmediata un Plan Nacional de Manejo y Conservación de Suelos que controle la erosión, manejando los efectos de la lluvia y la pendiente. Como ya se indicó, esto se logra utilizando prácticas mecánicas y agronómicas de control de erosión, en su mayoría, simples y de poco costo. Si bien todo esto es materialmente posible, quizá el principal reto es convencer a las entidades gubernamentales y privadas, y al mismo agricultor, de la necesidad urgente de desarrollar un Programa Nacional de Control de Erosión, particularmente si se toma en cuenta los efectos innegables del cambio climático que incrementarían la intensidad de las precipitaciones en varias zonas en el país (Cáceres, *et al.*, 2018).

A través de los años se han escuchado voces y opiniones que claramente han pedido tomar acción para controlar el grave problema de pérdida de suelo de las áreas de producción agrícola del país. Acosta Solís fue uno de los primeros científicos que documentó la naturaleza de la erosión en Ecuador y definió medidas de control (Acosta Solís, 1952). El desarrollo de la economía y el crecimiento de la población durante las siguientes décadas expandieron la frontera agrícola e incrementaron la presión sobre la tierra desencadenando un agresivo proceso erosivo. Un estudio conducido por Fundación Natura en 1981 sobre el estado del ambiente en Ecuador demostró que el principal problema ambiental, en ese momento, era la pérdida de suelo por erosión (Espinosa, 1981). Ese mismo año, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) desarrolló e implementó un proyecto de Conservación y Manejo de Suelos que condujo actividades en el campo hasta 1986. Este proyecto entrenó a más de 500 técnicos de nivel medio y profesionales en todo el país. Estas personas debieron ser la base para implementar un plan nacional de Conservación de Suelos. Al mismo tiempo se creó en el Ministerio de Agricultura (MAG) el Programa Nacional de Conservación de Suelos (PRONACOS) como extensión del PRONAREG. El proyecto del INIAP no continuó con sus actividades luego de 1986, pero INIAP retomó su trabajo a pequeña escala a nivel de cuencas hidrográficas (Córdova y Novoa, 1995). PRONACOS desapareció como entidad pública dos años después de su creación debido a la reorganización del MAG. Varias instituciones privadas como CARITAS desarrollaron también actividades de campo para control de erosión por varios años. A través del tiempo se han hecho llamados de diferente tipo, por diferentes medios, para desarrollar acciones efectivas de control de erosión en Ecuador (Jiménez, 2011; Podwokewski and Poulenard, 2011; Ochoa, *et al.*, 2013; Espinosa, 2014), pero hasta el momento no existe un Programa Nacional de Conservación de Suelos y el hecho claro e innegable es que el suelo en Ecuador se continúa perdiendo a paso acelerado.

En las condiciones actuales, el Programa Nacional de Manejo y Conservación de Suelos contaría con abundante información básica sobre la magnitud del proceso erosivo compilada y publicada por el Ministerio de Agricultura (MAG) y por el Instituto Geográfico Militar (IGM), que absorbió las competencias del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y éste del Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), a través de proyectos como el SIGTIERRAS y otros. Todas estas herramientas harían más fácil y efectiva la planificación y las acciones de conservación de suelos en el país.

7.9. Comentarios finales sobre la erosión en Ecuador

En Ecuador, la erosión ha degradado el suelo, ha reducido la capacidad de producción de los campos y ha tenido un profundo impacto en la economía de pequeños y grandes agricultores. Sin embargo, también el problema tiene consecuencias indirectas sobre los habitantes de zonas urbanas. La acumulación de sedimentos en las obras de infraestructura y la destrucción de caminos son ejemplos comunes.

Es también cierto que no existe una percepción clara de cómo atacar el problema y de qué acciones concretas podrían efectuarse en el campo, tanto a nivel regional como a nivel de parcela, a pesar de que la metodología para controlar erosión es conocida y está disponible. Se ha demostrado la factibilidad de controlar la erosión del suelo, pero esta información está concentrada en pocos grupos relacionados con agricultura y no llega a los agricultores.

Los agricultores perciben de manera general que algo anda mal en el manejo de las parcelas. Esta percepción viene del hecho de que los rendimientos de los cultivos son cada vez más bajos y que el suelo es cada vez más difícil de manejar. Sin embargo, cuando se sugiere la implementación de alguna práctica de conservación, los agricultores la rechazan porque consideran que complica el manejo normal de la parcela y es aparentemente costosa. El desarrollar conciencia sobre control de erosión en medios alejados a la agricultura podría ser aún más difícil. Muchos consideran que no son parte del problema; sin embargo, son receptores indirectos de los problemas de erosión causados en zonas rurales.

Un Programa Nacional de Conservación de Suelos requiere de considerable inversión y sus resultados no son visibles inmediatamente. Estos dos factores no han permitido lograr el apoyo de los sectores políticos en el pasado. Parecería que las condiciones políticas del país han cambiado en los últimos años y se ha generado un ambiente favorable para implementar un proyecto de esta naturaleza que podría iniciarse con la estructura ya existente en el MAGAP, con el apoyo de otras organizaciones del agro y asociaciones de productores, así como de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), varios de los cuales han conducido un trabajo efectivo en la habilitación de cangahua.

Finalmente, es imperativo un cambio radical en el enfoque de los programas de extensión agrícola que conducen los diferentes organismos gubernamentales y privados. La extensión agrícola debe girar alrededor de conservación de suelos, en otras palabras, toda acción de tipo agrícola solamente debería iniciarse luego de que se haya resuelto el potencial problema de erosión del sitio.

7.10. Referencias Bibliográficas

- Abdollahi, L. and L. Munkholm. 2014. Tillage system and cover crop effects on soil quality: I. Chemical, mechanical, and biological properties. *Soil Science Society of America Journal* 78(1): 262-270.
- Acosta, M. y O. Galárraga. 2011. Efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de nitrógeno. Departamento de Ciencias de la Vida, Carrera de Ciencias Agropecuarias. Escuela Politécnica del Ejército. Ingeniero Agropecuario. Quito, Ecuador. 135 p
- Acosta Solís, M. 1952. Por la conservación de las tierras andinas: la erosión en el Ecuador y métodos aconsejados para su control. Publicaciones Científicas MAS. Quito, Ecuador.
- Aguayo, J. 2016. Impacto de la erosión del suelo sobre la productividad y rentabilidad del maíz (*Zea mays* L.) en la zona de Mocache. Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniero Agrónomo. Quevedo, Ecuador. 69 p
- Alapin, H. 2008. Rastrojos y algo más: Historia de la siembra directa en Argentina. Teseo. Buenos Aires, Argentina.
- Almeida, G., G. Trujillo, G. de Noni, A. Winckell y J. Nouvelot. 1984. Los principales procesos erosivos del Ecuador. MAG-PRONACOS. Quito-Ecuador. <https://bit.ly/36D3wZT>
- Almorox, J., F. López y S. Rafaelli. 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. Universidad de Murcia. Murcia, España.
- Alvarado, S., R. Jaramillo, F. Valverde y R. Parra. 2011. Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar. INIAP-IPNI. Quito, Ecuador.
- Álvarez, C. y M. Barraco. 2005. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos. En: C. Álvarez y M. Barraco (eds). Indicadores de calidad física de suelos. INTA. Buenos Aires, Argentina. p. 5-14.

- Alwang, J., G.W. Norton, V. Barrera and R. Botello. 2013. Conservation agriculture in the Andean highlands: Promise and precautions. In: S. Mann (ed). The Future of Mountain Agriculture. Springer. London, England. p. 21-38.
- Amores, F. 1992. Uso de labranza mínima en la producción de cultivos. Comunicación Técnica. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo, Ecuador.
- Amores, F., D. Saquicela, W. Sarabia, O. Tarqui, I. Sotomayor y S. Vasco. 2014. Buenas prácticas para la renovación de huertas improductivas de cacao tradicional. Manual Técnico N° 97. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP. Quevedo, Ecuador.
- Arévalo, J. 2013. Evaluación de sistemas de labranza, cultivos de cobertura y rotación con maíz duro (*Zea Mays* L.) en la microcuenca del río Alumbre, cantón Chillanes, provincia Bolívar-Ecuador. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Estatal de Bolívar. Ingeniero Agrónomo. Guaranda, Ecuador. 168 p
- Asamblea Nacional. 2016. Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales. Asamblea Nacional. Quito-Ecuador.
- Ávila, O. 2019. Efecto de la labranza convencional y siembra directa en las propiedades químicas de un suelo sembrado con maíz y fréjol. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Ing. Agrónomo. Quito, Ecuador. 104 p
- Baker, J. and K. Saxton. 2008. Los qué y los por qué de la agricultura de labranza In: J. Baker and K. Saxton (eds). Siembra con labranza cero en agricultura de conservación. FAO - Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España. p. 1-12.
- Baldock, J. and K. Broos. 2012. Soil organic matter. In: P. Huang, Y. Li and M. Sumner (eds). Handbook of Soil Sciences. CRC press. Boca Raton, USA.
- Ball, B., N. Balarezo, R. Jadir Aparecido, A. Pires da Silva and C. Tormena. 2010. Visual soil structure quality assessment on Oxisols under no-tillage system. *Scientia Agricola* 67(4): 479-482.
- Barrera, V., J. Alwang y E. Cruz. 2008. Manejo integrado de los recursos naturales para la agricultura de pequeña escala en la subcuenca del río Chimbo-Ecuador: aprendizajes y enseñanzas. INIAP-SAREM-CRSP-SENACYT. Editorial El Taller Azul. Quito-Ecuador.
- Becker, M. y S. Tuttillo. 2009. Historia agraria y social de Cayambe. Ediciones Abya Yala. Quito-Ecuador. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=45261>
- Boardman, J. 2006. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena* 68(2): 73-86.
- Borie, F., R. Rubio and A. Morales. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. *J. Soil Sci. & Plant Nutr* 8(2): 9-18.
- Brassel, F., P. Ruiz y A. Zapatta. 2008. La estructura agraria en el Ecuador: una aproximación a su problemática y tendencias. En: F. Brassel, S. Herrera y M. Laforge (eds). Reforma Agraria en el Ecuador: viejos temas nuevos argumentos. SIPAE. Quito, Ecuador. p. 17-32.
- Bravo, C., B. Torres, D. Changoluisa, H. Marín, R. Alemán and R. Torres. 2016. Environmental impact of livestock systems in the Ecuadorian Amazon. In: Universidad Estatal Amazónica (ed). Sience Forum MOL2NET. MOL2NET. Basel, Switzerland.
- Bronick, C. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124(1): 3-22.
- Burgos, L. 1997. Causas estructurales de la deforestación en la Amazonía ecuatoriana. *Ecuador Debate* 40: 168-185.

- Buste, C. 2019. Crecimiento de hijuelos de banano en respuesta al abonamiento potásico. Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniero Agrónomo. Quevedo, Ecuador. 51 p
- Cabrera-Dávila, G., A. Socarrás-Rivero, G. Hernández-Vigoa, D. Ponce de León-Lima, Y. Menéndez-Rivero y J. Sánchez-Rendón. 2017. Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes* 40(2): 118-126.
- Cáceres, N., D. Rosero and M. Lane. 2018. What does the future hold? Historical climate analysis and projection of future climatic scenarios for the andean canton of Pedro Moncayo, Ecuador. *Revista Geográfica de América Central* 61(3): 297-318.
- Calero, A. y O. Vizuite. 2018. Por qué son frágiles los suelos de la Amazonía ecuatoriana? En: E. de Melo, C. Astorga, F. Casasola y C. Caicedo (eds). *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana*, N° 2. INIAP-CATIE. Quito, Ecuador.
- Campaña, F. 2015. Aplicación del Modelo RUSLE para el cálculo de erosión hídrica en la microcuenca del Río Perlaví. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Ingeniero Agrónomo. Quito, Ecuador. 87 p
- Cangás, J. y G. Trujillo. 1997. Experiencia de recuperación de cangahua en la provincia de Carchi (Ecuador). En: C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (eds). *Memorias del III Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos*. ORSTOM-UE-PUCE-UCE. Quito, Ecuador. p. 501-505.
- Cañadas, L. 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Editores Asociados. Quito, Ecuador.
- CEDEGE. 1970. Proyectos identificados en la Cuenca del Río Guayas. CEDEGE. Guayaquil, Ecuador.
- CEPAL y Patrimonio Natural. 2013. Amazonia posible y sostenible. CEPAL-Patrimonio Natural. Bogotá, Colombia.
- Chela, E. 2008. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca de la quebrada Chilcapamba, cantón Chillanes, provincia de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Estatal de Bolívar. Ingeniero Agrónomo. Guaranda-Ecuador. 72 p
- Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1527-1536.
- Chila, M. 2021. Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.) cultivado comercialmente en terrenos con pendiente variable. Escuela de Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniero Agrónomo. Quevedo, Ecuador. 84 p
- Chila, M. y F. Amores. 2019. El crecimiento y producción de maíz duro disminuyen con la siembra en terrenos inclinados recortando el retorno de la inversión, zona de Balzar. En: F. Abasolo y H. Canchignia (ed). *Memorias del X Congreso Latinoamericano de Agronomía*. Centro de Investigación y Desarrollo. Quevedo, Ecuador. UTEQ-Proyecto América-CIDE-MAG. Quevedo, Ecuador.
- CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP y SIGAGRO. 2009. Memoria técnica de clima e hidrología. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales en la cuenca del río Guayas escala 1: 25 000. CLIRSEN. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/2mpuf8F>
- Córdova, J. y V. Novoa. 1995. Problemática, experiencia y enfoque sobre la erosión, manejo y conservación de suelos de ladera en el Ecuador. En: IICA (ed). *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. IICA. Lima, Perú.
- Cortés, A. 2004. Suelos Colombianos. Una mirada desde la academia. Universidad de Bogota-Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.

- Costantini, A., C. Alvarez, C. Álvarez, E. Martellotto y E. Lovera. 2010. Uso de la relación de estratificación del carbono orgánico como indicador de efectos del manejo sobre el suelo y el secuestro de carbono. En: C. Videla (ed). XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 31 de mayo al. AACs. La Plata, Argentina.
- Craswell, E. and R. Lefroy. 2001. The role and function of organic matter in tropical soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 7-18.
- Crovetto, C. 2006. No-tillage: The relationship between no tillage, crop residues, plants and soil nutrition. *Therma Impresores SA*. Hualpén, Chile.
- Custode, E. y M. Sourdat. 1986. Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador* 24: 325-339.
- Custode, E., G. Trujillo, C. Valarezo y A. Voope. 1999. Manejo y conservación de suelos. La degradación del suelo y los cambios históricos. Consorcio CAMAREN. Quito-Ecuador.
- Custode, E. y M. Viennot. 1986. El riesgo de erosión en la región Amazónica. En: N. Gómez, J. León, P. Peltre y H. Vargas (eds). *La erosión en el Ecuador*. CEDIG-ORSTOM. Quito-Ecuador. p. 79-88.
- Dahlgren, R., M. Saigusa and F. Ugolini. 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy* 82: 113-182.
- Dai, J., J. Hu, A. Zhu, J. Bai, J. Wang and X. Lin. 2015. No tillage enhances arbuscular mycorrhizal fungal population, glomalin-related soil protein content, and organic carbon accumulation in soil macroaggregates. *Journal of Soils and Sediments* 15(5): 1055-1062.
- Dantur, N. 2011. La siembra directa y las nuevas tecnologías al servicio de la producción agrícola. *Avance Agroindustrial* 34(3): 15-19.
- de la Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos: para un desarrollo rural sostenible. Mundi-Prensa. Madrid-España.
- de Noni, G. 1986. Breve visión histórica de la erosión en el Ecuador. ORSTOM. Quito, Ecuador.
- de Noni, G. y G. Trujillo. 1999a. La erosión actual y potencial en Ecuador: Localización, manifestación y causas. ORSTOM. Quito, Ecuador.
- de Noni, G. y G. Trujillo. 1999b. Los principales procesos erosivos en el Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito, Ecuador.
- de Noni, G., G. Trujillo y M. Viennot. 1992. Análisis histórico, social y económico de la cangahua en Ecuador. En: C. Zebrowski, C. Prat, J. Etchevers, H. Arias y M. Miranda (eds). *I Simposio internacional Suelos volcánicos endurecidos*. Terra. México. p. 503-514.
- de Noni, G. et M. Viennot. 1994. Les recherches sur l'érosion par l'ORSTOM, évolution et perspectives : cas de la montagne équatorienne. In: ORSTOM (ed). *Les écosystèmes intertropicaux, Fonctionnement et Usage*. ORSTOM. Lyon, France.
- de Noni, G., M. Viennot y G. Trujillo. 1997. La erosión agrícola de los suelos en el Ecuador. En: A. Winckell, R. Marocco, T. Winter, C. Huttel, P. Pourrut, C. Zebrowski y M. Sourdat (eds). *Los paisajes naturales del Ecuador*. Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica (CEDIG) - IPGH (Sección Ecuador) - ORSTOM (Francia) - IGM. Quito, Ecuador.
- Dehn, M. 1995. An Evaluation of Soil Conservation Techniques in the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development* 15: 175-182.
- Dercon, G., J. Deckers, G. Govers, J. Poesen, H. Sánchez, R. Vanegas, *et al.* 2003. Spatial variability in soil properties on slow-forming terraces in the Andes region of Ecuador. *Soil and Tillage Research* 72(1): 31-41.

- Dercon, G., J. Deckers, J. Poesen, G. Govers, H. Sánchez, M. Ramírez, *et al.* 2006. Spatial variability in crop response under contour hedgerow systems in the Andes region of Ecuador. *Soil and Tillage Research* 86(1): 15-26.
- Dercon, G., G. Govers, P. Poesen, H. Sánchez, R. Rombaut, G. Vandenbroeck, *et al.* 2007. Animal-powered tillage erosion assessment in the southern Andes region of Ecuador. *Geomorphology* 87: 4-15.
- Derpsch, R. 2008. Critical steps in no-till adoption. *No-Till Farming Systems. Special Publication* (3): 479-495.
- Derpsch, R. 1998. Historical review of no-tillage cultivation of crops. In: FAO (ed). *Proceedings of the 1st JIRCAS Seminar on Soybean Research: No-tillage Cultivation and Future Research Needs*. JIRCAS. Iguassu Fall, Brazil.
- Derpsch, R., T. Friedrich, A. Kassam and H. Li. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3(1): 1-25.
- Díaz-Zorita, M., M. Barraco y C. Alvarez. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Hapludoll del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22(1): 11-18.
- Domínguez, A., J. Bedano y A. Becker. 2009. Cambios en la comunidad de lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) como consecuencia del uso de la técnica de siembra directa en el centro-sur de Córdoba, Argentina. *Ciencia del suelo* 27(1): 11-19.
- Donoso, M. 2009. La cuenca del río Paute: diagnóstico y propuesta de manejo integral. *Políticas de desarrollo agropecuario. PROMAS*. Cuenca, Ecuador.
- Driver, J., W. Holben and M. Rillig. 2005. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry* 37(1): 101-106.
- Dumanski, J., R. Peiretti, J. Benites, D. McGarry and C. Pieri. 2006. The paradigm of conservation agriculture. *Proc. World Assoc. Soil Water Conservation* 1: 58-64.
- Eglitis Media. 2021. Crecimiento demográfico del Ecuador. Disponible en: <https://www.datosmundial.com/america/ecuador/crecimiento-poblacional.php>
- Ekboir, J. 2002. Developing no-till packages for small-scale farmers. In: J. Ekboir (ed). *CIMMYT 2000-2001 World Wheat Overview and Outlook*. CIMMYT. México. p. 1-37.
- ESPAC. 2017. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. Quito, Ecuador.
- Espinosa, J. 2014. La erosión en Ecuador, un problema sin resolver. *Siembra* 2: 56-70.
- Espinosa, J. 1981. El recurso suelo en el Ecuador. En: L. Carrera (ed). *Diagnóstico de la situación del medio ambiente en el Ecuador*. Fundación Natura-USAID Technical Information Center. Quito, Ecuador.
- Espinosa, J. y F. Maldonado. 1987. Logros y problemas de la conservación del suelo. En: F. Maldonado (ed). *Conferencia Usos Sostenidos de Tierra en Laderas*. DESFIL-USAID. Quito, Ecuador.
- Espinosa, J. and J. Moreno. 2018. Agricultural land use. In: J. Espinosa, J. Moreno and G. Bernal (eds). *The Soils of Ecuador*. World Soils Book Series. Springer. Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25319-0_6
- Espinosa, J. y P. Mothes. 1991. Los suelos volcánicos del Ecuador. En: N. Gómez, P. Peltre, L. Mora y G. Bustos (eds). *El paisaje volcánico de la sierra ecuatoriana: geomorfología, fenómenos volcánicos y recursos asociados*. Corporación Editora Nacional. Quito, Ecuador. p. 92.
- Espinosa, P. 1993. Caracterización por erosión de las cuencas hidrográficas de la Sierra ecuatoriana. CIP. Quito, Ecuador.

- Fawcett, R.S. and D. Towery. 2003. Conservation tillage and plant biotechnology: how new technologies can improve the environment by reducing the need to plow. Conservation Technology Information Center. West Lafayette, Indiana, USA.
- Fiallos, J. 2017. Importancia del sector agrícola en una economía dolarizada. Colegio de Administración y Economía, Universidad San Francisco de Quito. Economista. Quito, Ecuador. 77 p
- FLACSO, MAE y PNUMA. 2008. Capítulo 4: Estado del suelo. En: FLACSO (ed). GEO Ecuador 2008. Informe sobre el estado del medio ambiente. FLACSO. Quito, Ecuador.
- Foubert, M. 2015. Sistematización de experiencias de sistemas de producción en cangahuas habilitadas en la parroquia Pimampiro. UCE – Prefectura de Imbabura de Ibarra – MAGAP – IRD – Montpellier SupAgro. Quito, Ecuador.
- Friedrich, T., R. Derpsch and A. Kassam. 2017. Overview of the global spread of conservation agriculture. In: K. Etingoff (ed). Sustainable Development of Organic Agriculture: Historical Perspectives. Apple Academic Press. Ontario, Canada. p. 53-68.
- Galantini, J., J. Iglesias, M. Landriscini, L. Suñer y G. Minoldo. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: J. Galantini (ed). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. p. 71-96.
- García, L. y J. Schlatter. 2012. Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 7(3): 456-464.
- Gattinger, A., J. Jawtusich, A. Müller and P. Mäder. 2011. No-till agriculture, a climate smart solution? Misereor. Aachen, Germany.
- Gaybor, A. 2018. Análisis exploratorio hacia la comprensión de evolución tecnológica del riego en el Ecuador. Revista Economía 70(112): 33-51.
- Ghisolfi, E. 2011. Contenido de materia orgánica en relación con la fertilidad del suelo en siembra directa. Edivim. Buenos Aires, Argentina.
- González, A., J. Moreno, R. Lucero, H. Velásquez y T. Yugcha. 2002. Informe final del proyecto “Generación de Información Georeferenciada para el Desarrollo Sustentable del Sector Agropecuario”. MAG-IICA-CLIRSEN. Quito, Ecuador.
- Green, V., D. Stott, J. Cruz and N. Curi. 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. Soil and Tillage Research 92(1): 114-121.
- Grove, J., R. Ward and R. Weil. 2007. Nutrient stratification in no-till soils. Agron. J 65: 781-783.
- Guadamud, B. y F. Amores. 2019. Pequeños productores de maíz enfrentan los riesgos del entorno ambiental con medidas de adaptación agro socio económica, zona de Mocache. En: F. Abasolo y H. Canchignia (ed). Memorias del X Congreso Latinoamericano de Agronomía. UTEQ-Proyecto América-CIDE-MAG. Quevedo, Ecuador.
- Hall, M. y P. Mothes. 1997. El origen y edad de la cangahua superior, Valle de Tumbaco, Ecuador. En: C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (eds). III Symposium Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. ORSTOM-UE-PUCE-UCE. Quito, Ecuador. p. 19-28.
- Harden, C. 1993. Land use, soil erosion, and reservoir sedimentation in an Andean drainage basin in Ecuador. Mountain Research and Development 13(2): 177-184.
- Haro, R. 2020. Estimación de la erosión actual de la Sierra Norte del Ecuador, utilizando Geoinformación. Facultad de Ciencias Agrícolas. Consejo de Posgrado, Universidad Central del Ecuador. Magíster en Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Riego. Quito, Ecuador. 138 p

- Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 2014. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Eight ed. Pearson Prentice Hall.
- He, J., H. Li, R. Rasaily, Q. Wang, G. Cai, Y. Su, *et al.* 2011. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research* 113(1): 48-54.
- Henry, A., L. Mabit, R. Jaramillo, Y. Cartagena and J. Lynch. 2013. Land use effects on erosion and carbon storage of the Río Chimbo watershed, Ecuador. *Plant and soil* 367(1): 477-491.
- Hidalgo, F. 1998. Los antiguos paisajes forestales del Ecuador. Una reconstrucción de sus primitivos ecosistemas. ABYA-YALA. Quito-Ecuador.
- Hidrobo, J., M. da Costa, C. Prat, G. Trujillo, J. Moreno y C. Ortega. 2015. Sistemas de producción en áreas con cangahua habilitada en la Sierra Norte de Ecuador. *Siembra* 2: 116-127.
- Hillel, D. 1992. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. Univer. of California Press. Los Angeles-USA.
- IDEA. 1988. Memorias del Seminario y Estudio Técnico: Políticas de manejo de suelos y aguas en tierras agrícolas de la Cuenca del Río Guayas. Quito, Ecuador. IDEA.
- IGM y IEE. 2008. El hombre y la erosión en el Ecuador. *Revista Geográfica IGM* 27(1): 10-18.
- IICA-PROCIANDINO. 1995. Problemática, experiencias y enfoque sobre la erosión, manejo y conservación de suelos de ladera en Ecuador. En: REDAMACS (ed). *La erosión, manejo y conservación de suelos de ladera en la Subregión Andina*. PROCIANDINO. Lima-Perú. p. 14-20.
- INAMHI. 2015. Anuario Meteorológico N° 52 2012. INAMHI. Quito, Ecuador.
- INERHI. 1981. Evaluación de los recursos hidrológicos superficiales del Ecuador. INERHI. Quito-Ecuador.
- INIAP. 1990. Informe Anual. Departamento Nacional de Manejo de Suelo y Agua, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Quevedo, Ecuador.
- INTA. 2011. Siembra directa. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina.
- Islam, R. and R. Reeder. 2014. No-till and conservation agriculture in the United States: an example from the David Brandt farm, Carroll, Ohio. *International Soil and Water Conservation Research* 2(1): 97-107.
- Jaramillo, J. 2015. Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo USLE mediante herramientas SIG aplicando en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí. Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Instituto de Investigación y Posgrado, Universidad Central del Ecuador. Magister en Sistemas de Información Geográfica. Quito, Ecuador. 143 p
- Jiménez, R. 2020. Efecto de varias alternativas de abonamiento mineral bajo condiciones de riego para optimizar el rendimiento del cultivo de soya (*Glycine max*). Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniero Agrónomo. Quevedo, Ecuador. 79 p
- Jiménez, S. 2011. Erosión del suelo en Ecuador. CTT-USFQ - Fundación Carolina. Quito, Ecuador. <http://observatoriopoliticaambiental.org/categoria-indicadores/89-indicadores-de-cambio-climatico/71-la-erosion-del-suelo-en-el-Ecuador>
- Jiménez, W., V. Loayza y E. Metzler. 2018. Mapeo de cangahuas mediante teledetección en el Ecuador. *Siembra* 5(1): 38-50.
- Jiménez, W., C. Montúfar y C. Prat. 2016. Cartografía de suelos con cangahuas mediante teledetección en los cantones de Cayambe, Pedro Moncayo y Pimampiro, Sierra Norte de Ecuador. En: J. Espinosa, S. Alvarado y R. Jaramillo (ed). *XXI Congreso Latinoamericano y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.

- Kay, A. and A. VandenBygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research* 66 (2002) 107–118 66: 107-118.
- Kertész, Á. and B. Madarász. 2014. Conservation agriculture in Europe. *International Soil and Water Conservation Research* 2(1): 91-96.
- Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development* 17(2): 197-209.
- Lal, R. 2011. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food policy* 36: S33-S39.
- Lal, R. 2017. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: R. Lal (ed) *Soil erosion research methods*. Routledge-England. p. 1-10.
- Landers, N. 2004. Desarrollo de la siembra directa en el Brasil Tropical. FAO. Roma, Italia.
- Lehmann, J. and M. Kleber. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528(7580): 60-68.
- López, V., F. Espíndola, J. Calles y J. Ulloa. 2019. Amazonía ecuatoriana bajo presión. *EcoCiencia*. Quito, Ecuador.
- Loza, R. 1995. El problema de la desertificación en el Ecuador INEFAN. Quito-Ecuador.
- MAG. 1999. Sistema de monitoreo ambiental en el sector agropecuario del Ecuador. Diagnóstico y línea base. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito-Ecuador.
- MAG. 2017. Mapa de cangahuas superficiales en el Ecuador continental, escala 1:25 000. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria. Quito, Ecuador.
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015a. Manual de procedimientos de geopedología. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1 y 2. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/3i6FP2L>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015b. Memoria técnica del cantón Aguarico. Geopedología y temáticas derivadas. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/3zJSajM>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015c. Memoria técnica del cantón Orellana. Geopedología y temáticas derivadas. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/36N8ukI>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015d. Memoria técnica del cantón Sucumbíos. Geopedología y temáticas derivadas. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/3tdfOmg>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015e. Panorámica del perfil CSp-NVI_B4-85-0082. Memoria técnica del cantón Girón. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. <https://bit.ly/3i8ysH0>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015f. Panorámica del perfil CSp-NVI_B4-89-0078. Memoria técnica del cantón Nabón. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 2. <https://bit.ly/3kaO4fq>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015g. Panorámica del perfil CSp-NVI_D1-99-0058. Memoria técnica del cantón Saraguro. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 2. <https://bit.ly/3yTtvbN>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015h. Panorámica del perfil CSp-ÑV_E1-89-0021. Memoria técnica del cantón Azogues. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. <https://bit.ly/3eakaEe>

- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015i. Panorámica del perfil CSp-ÑV_E3-87-0046. Memoria técnica del cantón Gualaceo. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 2. <http://bit.ly/2Cotrp2>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2016a. Memoria técnica del cantón Archidona. Geopedología y temáticas derivadas. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/3DVD6Ce>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2016b. Memoria técnica del cantón Gonzalo Pizarro. Geopedología y temáticas derivadas. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/34sprPX>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2016c. Memoria técnica del cantón Tena. Geopedología y temáticas derivadas. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 1. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2M5UBWY>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2016d. Panorámica del perfil CSp-NV_D2-97-0009. Memoria técnica del cantón Cañar. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 2. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/36w9kUZ>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2016e. Panorámica del perfil CSp-ÑVI_A1-97-0072. Memoria técnica del cantón Cuenca. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 2. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/36OAHIK>
- Maldonado, E., F. Maldonado y C. Zebrowski. 1984. Suelos sobre proyecciones volcánicas del Ecuador. En: F. Maldonado (ed). VI Coloquio Internacional de Clasificación y Manejo de Suelos Volcánicos. SECS. Quito, Ecuador.
- Mejía, L. 1997. Suelos del Ecuador: Reconocimiento general en base a su capacidad-fertilidad y mapa general de clasificación por Capacidad-Fertilidad de los suelos del Ecuador: Una interpretación básica sobre las características de los suelos del Ecuador. FFJMD-INPOFOS-IGM-IPGH-SECS. Quito, Ecuador.
- Mena, C. 2010. Deforestación en el Norte de la Amazonía Ecuatoriana: del patrón al proceso. *Polémika* 2(5): 60-65.
- Metzler, E., W. Jiménez y V. Loayza. 2016. Cartografía de suelos con cangahuas superficiales en la parroquia Tocachi, Ecuador, a escala 1: 15 000. En: J. Espinosa, S. Alvarado and R. Jaramillo (ed). XXI Congreso Latinoamericano y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2012. Panorámica del perfil PN6-P026. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/3hyFw0k>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD Pichincha. 2013a. Perfil PM3-P140. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. IEE. Quito-Ecuador. <http://bit.ly/2OtVnO4>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD Pichincha. 2013b. Perfil PM3-P143. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. IEE. Quito-Ecuador. <http://bit.ly/2XCmASU>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD Pichincha. 2013c. Perfil PN2-P116. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Quito-Ecuador. <http://bit.ly/2QGnWKZ>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD Pichincha. 2013d. Perfil PN8-P147. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. IEE. Quito-Ecuador. <http://bit.ly/35g4KYn>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y MAGAP. 2013e. Perfil PM2-P142. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2KCbKac>

- MIDENA, SENPLADES, IEE y MAGAP. 2014. Perfil PN7-P218. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. IEE. Bolívar-Ecuador. <http://bit.ly/2XsDdjR>
- Miller, E. 1959. Agricultural Ecuador. *Geographical Review* 49(2): 183-207.
- Molina, A., G. Govers, J. Poesen, H. Van Hemelryck, B. De Bièvre and V. Vanacker. 2008. Environmental factors controlling spatial variation in sediment yield in a central Andean mountain area. *Geomorphology* 98(3): 176-186.
- Montesdeoca, F. 2021. Efecto de sistemas de labranza en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sembrado con dos rotaciones de cultivos. Datos no publicados. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Montesdeoca, F., M. Ávila, J. Quishpe, F. Borie, P. Cornejo, P. Aguilera, *et al.* 2020. Early changes in the transition from conventional to no-tillage in a volcanic soil cultivated with beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 36(3): 181-189.
- Moreno, J., F. Yerovi, M. Herrera, D. Yáñez and J. Espinosa. 2018. Soils from de Highlands. In: J. Espinosa, J. Moreno and G. Bernal (eds). *The Soils of Ecuador*. World Soils Book Series. Springer. Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25319-0_3
- Nanzzyo, M. and H. Kanno. 2018. *Inorganic constituents in soil*. Springer. Singapore.
- Nieto, C. y C. Caicedo. 2012. Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Publicación Miscelánea N° 405. INIAP-EECA. Joya de los Sachas, Ecuador.
- Novillo, I., M. Carrillo, J. Cargua, V. Moreira, K. Albán y F. Morales. 2018. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas agrarios* 23(2): 177-187.
- Ochoa, P., A. Fries, D. Mejía, J. Burneo, J. Ruíz and A. Cerdà. 2016. Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Catena* 140: 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.011>
- Ochoa, P., A. Fries, P. Montesinos, J. Rodríguez and J. Boll. 2013. Spatial estimation of soil erosion risk by land-cover change in the Andes of southern Ecuador. *Land Degrad. Dev* 10: 1002-1005.
- Ohl, C. and R. Bussmann. 2004. Recolonisation of natural landslides in tropical mountain forests of Southern Ecuador. *Feddes Repertorium: Zeitschrift für botanische Taxonomie und Geobotanik* 115(3-4): 248-264.
- Ortiz, F. 1990. Los recursos naturales del Ecuador. Fundación Natura-US AID. Quito, Ecuador.
- Pacheco, H., W. Méndez and A. Moro. 2019. Soil erosion risk zoning in the Ecuadorian coastal region using geo-technological tools. *Earth Sciences Research Journal* 23(4): 293-302.
- Pacheco, R. 2009. *El Ecuador: Recursos naturales agrícolas y del medio ambiente*. Imprenta Colón. Quito, Ecuador.
- Paredes, N., M. Angamarca, E. de Melo y H. Figueroa. 2018. El rol de los sistemas agroforestales en la conservación, recuperación y manejo de los suelos en sistemas de producción agropecuarios. En: E. de Melo, C. Astorga, F. Casasola y C. Caicedo (eds). *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana*, N° 2. INIAP-CATIE. Quito, Ecuador.
- Pennock, D. 2019. Soil erosion: the greatest challenge for sustainable soil management. FAO. Rome, Italy.
- Perrachón, J. 2004. Siembra directa: qué es?. *Revista del Plan Agropecuario* 110(1): 54-57.
- Peters, T., T. Drobnik, H. Meyer, M. Rankl, M. Richter, R. Rollenbeck, *et al.* 2013. Environmental changes affecting the Andes of Ecuador. In: M. Caldwell, G. Heldmaier, R. Jackson, O. Lange, H. Mooney, E. Schulze and U. Sommer (eds). *Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of South Ecuador*. Springer. p. 19-29.

- Pimentel, D. and M. Burgess. 2013. Soil erosion threatens food production. *Agriculture* 3: 443-463.
- Pineda, M. 2019. Efectos del cambio de uso del suelo y su proyección futura en la erosión hídrica en Ecuador continental. Facultad de Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja. Ingeniero en Manejo y Conservación del Ambiente. Loja, Ecuador. 53 p
- Pino, S., H. Aguilar, A. Apolo y L. Sisalema. 2018. Aporte del sector agropecuario a la economía del Ecuador. Análisis crítico de su evolución en el período de dolarización. Años 2000–2016. *Revista Espacios* 39(32): 7-15.
- Pittelkow, C., X. Liang, B. Linqvist, K. Van Groenigen, J. Lee, M.E. Lundy, *et al.* 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517(7534): 365-368.
- Podwojewski, P. y J. Poulenard. 2011. Suelos de los páramos de Ecuador. En: P. Mena, A. Castillo, S. Flores, R. Hofstede, C. Josse, S. Lasso, G. Medina, N. Ochoa y D. Ortiz (eds). *Páramo*. Abya Yala. Quito, Ecuador.
- Poulenard, J., P. Podwojewski, J.-L. Janeau and J. Collinet. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning. *Catena* 45(3): 185-207.
- Prat, C., J. Moreno, J. Hibrobo, G. Trujillo, C. Ortega, J. Etchevers, *et al.* 2015. Turning rocks into soils from the Ecuadorian Andes to the Mexican Transvolcanic Sierra. In: R. Romeo, A. Vita, S. Manuellini, E. Zanini, M. Freppaz and S. Stanchi (eds). *Understanding mountain soils: a contribution from mountain areas to the International Year of Soils*. FAO. Rome, Italy.
- Raudes, M. y N. Sagastume. 2009. Manual de conservación de suelos. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras.
- Rosado, K. 2021. Distribución espacial del grado de pendiente del terreno y su relación con la producción y rentabilidad de campos comerciales de maíz, en la zona de Ventanas. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniero Agrónomo. Quevedo, Ecuador. 46 p
- Sánchez, M. 2015. Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. *Revista Científica y Tecnológica UPSE* 3(1): 41-54.
- Santos, W. y D. Castro. 2012. Estudio de la pérdida del recurso suelo mediante el cálculo de tasas de erosión y propuesta de estrategias de manejo de suelos, determinadas por las características socio-ambientales de los Andes ecuatorianos. Escuela de Ciencias Geográficas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ingeniero en Ciencias Geográficas. Quito, Ecuador. 136 p
- SENAGUA-DED. 2009. Estudio Exploratorio: Problemática y conflictos sobre los recursos hídricos por efectos del cambio climático. SENAGUA. Quito, Ecuador.
- Serrano, S. 2020. Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades químicas del suelo y la productividad de cuatro especies vegetales (primer ciclo). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Ing. Agrónomo. Quito, Ecuador. 93 p
- SIGTIERRAS. 2010. Ortofoto 1: 5 000. MAG-SIGTIERRAS. Quito, Ecuador.
- Six, J. and K. Paustian. 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry* 68: A4-A9.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to soil taxonomy. 10th ed. USDA - NRCS. Washington DC, USA. <http://bit.ly/2kEtbtf>
- Southgate, D. and M. Whitaker. 1994. *Economic Progress and the Environment. One Developing Country's Policy Crisis*. Oxford University Press. New York.
- Suquilanda, M. 2008. El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. En: J. Espinosa (ed). *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* Quito. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo.

- Taruchaín, A. 2020. Evaluación de la habilitación de cangahuas para la producción agrícola en San Miguel de Urququí. Facultad de Ciencia Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Ing. Agrónomo. Quito, Ecuador. 98 p
- Tayupanta, J. y J. Córdova. 1990. Algunas alternativas agronómicas y mecánicas para evitar la pérdida de suelo. INIAP. Quito-Ecuador.
- Tello, A., N. Saltos, S. Romero, E. Tello, P. Romero, L. Vásquez, *et al.* 2019. Ecuador su realidad. Fundación José Peralta. Quito-Ecuador.
- Terán, G. 1997. La recuperación de suelos cangahuosos en el proyecto Licto En: C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (eds). Memorias del III Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. ORSTOM-UE-PUCE-UCE. Quito, Ecuador. p. 506-510.
- Tigreros, G. 2017. Factores que contribuyen a la variación de la productividad del maíz entre fincas en el sector de Quinzaloma- La Ercilia. Escuela de Ingenieria Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniero Agrónomo. Quevedo, Ecuador. 70 p
- Toapanta, O. 2016. Efecto de labranza convencional y siembra directa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y en la producción de tres cultivos de la Sierra. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Ingeniero Agrónomo. Quito, Ecuador. 81 p
- Towery, D. and S. Werblow. 2010. Facilitating Conservation Farming Practices and Enhancing Environmental Sustainability with Agricultural Biotechnology. Conservation Information Technology Center. West Lafayette, Indiana, USA.
- Trimble, S.W. and P. Crosson. 2000. US soil erosion rates: myth and reality. Science 289(5477): 248-250.
- Trujillo, G. y J. Arias. 1997. Productividad de la cangahua rehabilitada en Ecuador: Ensayos agronómicos. En: C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (eds). III Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. ORSTOM-UE-PUCE-UCE. Quito, Ecuador. p. 260-271.
- Vanacker, V., G. Govers, S. Barros, J. Poesen and J. Deckers. 2003. The effect of short-term socio-economic and demographic change on landuse dynamics and its corresponding geomorphic response with relation to water erosion in a tropical mountainous catchment, Ecuador. Landscape Ecology 18(1): 1-15.
- Vasco, E. 2019. Efecto de la labranza convencional y siembra directa en las propiedades físicas de un suelo volcánico sembrado con maíz y fréjol. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Ing. Agrónomo. Quito, Ecuador. 74 p
- Vera, R. y R. López. 1992. Tipología de la cangahua. En: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (ed). Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo - ORSTOM. Montecillo, México. p. 113-119.
- Vergara, P. 2019. Respuesta del arroz (*Oryza sativa*) a diferentes alternativas de fertilización en un suelo bajo, sujeto a inundación temporal, cantón Mocache. Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniero Agrónomo. Quevedo, Ecuador. 72 p
- Videla, L., C. Rostagno and M. Toyos. 2008. La materia orgánica particulada: comparación de métodos para su determinación y su valor como indicador de calidad de suelos del Chubut. Ciencia del suelo 26(2): 219-227.
- Villacís, B., D. Carrillo y A.G. Martínez. 2011. Estadística demográfica en el Ecuador: diagnóstico y propuesta. INEC. Quito-Ecuador.
- Wall, P. 1995. Siembra directa: perspectivas en áreas tropicales y subtropicales. En: J. Puignau (ed). Avances en Siembra Directa. IICA-PROCISUR. Montevideo, Uruguay.

- Winckell, A., C. Zebrowski y M. Sourdat. 1997. Los paisajes naturales del Ecuador. Volumen 2: Las regiones y paisajes del Ecuador. CEDIG-IPGH-IRD-IGM. Quito, Ecuador.
- Wingeyer, A., T. Amado, M. Pérez-Bidegain, G. Studdert, C. Perdomo, F. Garcia, *et al.* 2015. Soil quality impacts of current South American agricultural practices. *Sustainability* 7: 2213-2242.
- Winters, P., P. Espinosa y C. Crissman. 1998. Manejo de los recursos en los Andes ecuatorianos: revisión de literatura y evaluación del Proyecto Manejo del Uso Sostenible de Tierras Andinas (PROMUSTA) de CARE. Ediciones Abya Yala. Quito, Ecuador.
- WOCAT. 2020. World Overview of Conservation Approaches and Technologies. SLM Practices: Technologies and Approaches. Available in: <https://www.wocat.net/en/global-slm>.
- Wolf, T. 1892. Geografía y geología del Ecuador. Editorial Casa de la Cultura. Quito-Ecuador.
- Zambrano, X., A. Campos, O. Mendoza, J. Mendoza, E. Sinichenko and I. Gritsuk. 2020. Mathematical model to determine the runoff coefficient based on precipitation and curve number data, in the Manabi hydrographic demarcation, Ecuador. In: P. Jan Pahl, V. Galishnikova, N. Vatin, M. Kharun and D. Koroteev (ed). International Conference on Engineering Systems 2020. IOP Publishing. Moscow, Russia.
- Zamudio, C. y T. León. 2008. Transferencia y adopción de prácticas de agricultura de conservación del “proyecto Checua”, en los municipios de Caldas (Boyacá) y Nemocón (Cundinamarca). *Gestión y Ambiente* 11(2): 149-164.
- Zapatta, A. y P. Gasselin. 2005. El riego en el Ecuador: problemática, debate y políticas. CESA. Quito-Ecuador.
- Zebrowski, C. 1997. Los suelos con cangahua en el Ecuador. En: C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (eds). *Memorias del III Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos*. ORSTOM-UE-PUCE-UCE. Quito, Ecuador. p. 128-138.
- Zebrowski, C. y B. Sánchez. 1997. Los costos de rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos. En: C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (eds). *Suelos Volcánicos Endurecidos*. UE-ORSTOM-PUCE-UCE. Quito, Ecuador. p. 462-471.
- Zebrowski, C. y M. Sourdat. 1997. Los factores de la pedogénesis y los suelos en Ecuador. En: A. Winckell, R. Marocco, T. Winter, C. Huttel, P. Pourrut, C. Zebrowski y M. Sourdat (eds). *Los paisajes naturales del Ecuador. Volumen 1: Las condiciones generales del medio natural*. CEDIG-IPGH-ORSTOM-IGM. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2kory6p>
- Zehetner, F., W. Miller and L. West. 2003. Pedogenesis of volcanic ash soils in Andean Ecuador. *Soil Sci. Soc. Am. J* 67(1): 1797-1809.
- Zuazo, V. and C. Pleguezuelo. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 28(1): 785-811.

SUELOS DEL ECUADOR CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO



CONTACTOS:

- Dirección: (593-2) 3 975 100 est. 2102
- Subdirección: (593-2) 3 975 100 est. 2109
- Geoinformación: (593-2) 3 975 100 est. 4448
- Mercadotecnia: (593-2) 3 975 100 est. 2509/2517
- Comunicación Social: (593-2) 3 975 100 est. 2505/2506
- Pbx: (593-2) 3 975 100

Síguenos en:



Quito: Av. Seniergues E4-676 Y Gral. T. Paz y Miño - El Dorado

Instituto Geográfico Militar

www.geograficomilitar.gob.ec / www.geoportal.gob.ec

ISBN: 978-9942-22-557-3

